

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

CARLA DA PENHA SIMON

**EMIÇÃO DE CO₂ E ATRIBUTOS FÍSICOS EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

São Mateus - ES

Fevereiro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

**EMIÇÃO DE CO₂ E ATRIBUTOS FÍSICOS EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

CARLA DA PENHA SIMON

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória

São Mateus - ES

Fevereiro de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)
Bibliotecário: Filipe Briguiet Pereira – CRB-6 ES-000863/O

S598e Simon, Carla da Penha, 1989-
Emissão de CO₂ e atributos físicos em diferentes sistemas de
preparo do solo / Carla da Penha Simon. – 2018.
52 f. : il.

Orientador: Edney Leandro da Vitória.
Coorientadores: Elcio das Graça Lacerda.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário
Norte do Espírito Santo.

1. Geologia - Métodos estatísticos. 2. Atmosfera do solo. I.
Vitória, Edney Leandro. II. Lacerda, Elcio das Graças. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário
Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

CARLA DA PENHA SIMON

**EMIÇÃO DE CO₂ E ATRIBUTOS FÍSICOS EM DIFERENTES
SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2018.


COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Elcio das Graça Lacerda
Instituto Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Paulo Roberto da Rocha Junior
Fazenda da Toca

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me sustentado, muitas foram as conquistas ao longo da graduação e da pós-graduação. Vários foram os obstáculos durante essa trajetória, mas venci todas porque Ele colocou pessoas sensacionais em meu caminho.

Agradeço ao Papai e a Mamãe pela minha educação, cuidado, amor, carinho, com os quais fui criada; sendo sempre grandes exemplos de caráter, força, perseverança e fé; meus parceiros incondicionais em todos os sonhos e conquistas; agradeço a Deus por pertencer a este Lar.

A minhas irmãs Cátia e Camila pelo grande apoio nas horas em que mais precisei, por acreditar no meu potencial, mesmo quando duvidei dele.

Ao meu orientador Edney Leandro da Vitória, que me concedeu muitas oportunidades, dentre elas ser sua orientada, uma honra. Ao meu co-orientador, conselheiro e grande amigo, Élcio das Graça Lacerda e família, pelos quais tenho muito apreço. Ao professor Paulo Roberto da Rocha Junior pelos apoios e auxílio com o estudo de gases do solo.

Agradeço com muito carinho a Cesar Menegassi Sobrinho, Juliana Menegassi, William Alves Garcia, Yago Soares Avancini, Tatiana Fiorotti Rodrigues, Otávio Comério e Joice Lopes dos Santos por contribuírem com a realização das atividades em campo e laboratório sendo meus parceiros de todas as horas.

Em especial a minha grande amiga Emanuelle Cata Preta Nunes, meu suporte durante a pós-graduação, estando sempre presente nas atividades que desenvolvi com responsabilidade e dedicação.

E por fim agradeço a todos meus Professores e Colaboradores, pois eu sou a reunião de cada coisa boa que aprendi ao longo desses anos com vocês. Eu gostaria que considerassem cada conquista, como esta, não como de uma aluna, mas como nossa, pois todos trabalhamos por isso.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULOS.....	4
2.1. VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO	5
RESUMO	5
ABSTRACT	6
2.1.1. Introdução	6
2.1.2. Material e Métodos.....	9
2.1.2.1. Área de estudo.....	9
2.1.2.2. Caracterização da área de estudo	11
2.1.2.3. Emissão de CO ₂ do solo	12
2.1.2.4. Temperatura e umidade do solo	13
2.1.2.5. Amostragem de solo	13
2.1.2.6. Variabilidade Espacial.....	14
2.1.3. Resultados	16
2.1.3.1. Emissão de CO ₂ do solo	16
2.1.3.2. Temperatura e umidade do solo	17
2.1.3.3. Física do solo.....	17
2.1.3.4. Variabilidade espacial	18
2.1.4. Discussão.....	23
2.1.5. Conclusões.....	27
Referências	27
2.2. EMISSÃO DE CO₂ E ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO	33

Resumo	33
Abstract	34
2.2.1. Introdução	34
2.2.2. Material e Métodos	37
2.2.3. Resultados	40
2.2.4. Discussão	44
2.2.5. Conclusões	47
Referências	47
3. CONCLUSÕES GERAIS	51
REFERÊNCIAS	51

RESUMO

SIMON, Carla da Penha; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2018; **Emissão de CO₂ e atributos físicos em diferentes sistemas de preparo do solo**; Orientador: Edney Leandro da Vitória, Co-orientador: Élcio das Graça Lacerda.

O solo do ambiente agrícola pode atuar como emissor ou sumidouro de carbono. As emissões de CO₂ do solo (FCO₂) dependem da adoção das práticas de manejo, dentre estas estão os sistemas de preparo do solo. Assim, objetivou-se, avaliar a influência de diferentes sistemas de preparo do solo, sistema de plantio direto (SPD), preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e área de mata nativa como referência (MN) quanto ao FCO₂ e estabelecer sua relação com os atributos do solo. O estudo foi realizado no IFES *Campus* Santa Teresa-ES, entre os meses de agosto/2016 e março/2017. Para avaliação do FCO₂ se fez uso de um analisador de gás infravermelho LI-8100A, com a leitura simultânea da temperatura e umidade do solo; e retirada de amostras de solo próximas aos colares instalados para leitura do FCO₂, na faixa de profundidade de 0 - 0,20 m, a fim de determinar os atributos do solo: densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e resistência mecânica a penetração do solo (RPS). Capítulo 1: Foram adotadas três malhas amostrais, conforme a delimitação de cada sistema de preparo (SPD, CM e PC) totalizando 300 pontos de coleta de dados. As análises geoestatísticas dos parâmetros dos semivariogramas, foram estimadas com o uso do *Software Geostatistical for environmental science*® GS+. Nas áreas de estudo o FCO₂ variou de 0,53 a 4,99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, os índices de dependência espacial nas áreas PD, PC e CM foram 95, 50% e 37,9 respectivamente. O comportamento espacial das variáveis no estudo apresentou as classificações de moderada a baixa variabilidade espacial. Capítulo 2: por meio da estatística univariada cada sistema de preparo do solo, mais a área de referência (MN), foram considerados como tratamentos, com 6 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Onde as variáveis estudadas foram: Ds, VTP, Ma, Mi, RPS e carbono orgânico total (COT). As análises foram realizadas por meio do programa estatístico SisVar®. O FCO₂ apresentou diferença significativa entre o SPD e o PC; valores médios para SPD, Mata, CM e PC (2,30; 2,18; 2,25 e 1,39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); COT apresentou seu maior valor na área de Mata (32,95 g kg⁻¹) diferindo estatisticamente das demais áreas. Observou-se que menores emissões podem ser esperadas de sistemas com baixo aporte de carbono orgânico.

Palavras-chave: geoestatística, preparo convencional, cultivo mínimo, sistema de plantio direto, mata nativa

ABSTRACT

SIMON, Carla da Penha; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; February de 2018; **CO₂ emission and physical attributes in different soil preparation systems**; Advisor: Edney Leandro da Vitória, Co-advisor: Élcio das Graça Lacerda.

Soil from the agricultural environment can be as a carbon emitter or sink. Soil CO₂ emissions (FCO₂) depend on the adoption of management practices, such as soil preparation systems. The objective of this study was to evaluate the influence of different tillage systems, no-tillage (NT), conventional tillage (CT), minimum tillage (MT) and native forest area as reference (NF) for FCO₂ and relationship with soil attributes. The study was carried out at the IFES Campus Santa Teresa-ES, between the months of August / 2016 and March / 2017. To evaluate the FCO₂, an infrared gas analyzer LI-8100A was used, with the simultaneous reading of the temperature and humidity of the soil; and removal of soil samples close to the installed FCO₂ collars, in the depth range 0 - 0.20 m, in order to determine soil attributes: density (Bd), total pore volume (TPV), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and mechanical resistance to soil penetration (RSP). Geostatistical analyzes of semivariograms parameters were estimated using *Geostatistical for environmental science*® GS+ Software. In the study areas FCO₂ ranged from 0.53 to 4.99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, the spatial dependence indices in the NT, CT and MT areas were 95, 50% and 37.9 respectively. The spatial behavior of the variables in the study presented the classifications of moderate to low spatial variability. Chapter 2: using univariate statistics, each soil preparation system plus reference area (NF) were considered as treatments, with 6 replications, totaling 24 experimental units. Where the studied variables were: Bd, TPV, Ma, Mi, RSP and total organic carbon (TOC). The analyzes were performed using the *SisVar*® statistical program. FCO₂ presented a significant difference between NT and CT; mean values for NT, NF, MT and CT (2.30, 2.25, 2.18 and 1.39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); COT presented its highest value in the Mata area (32.95 g kg⁻¹), differing statistically from the other areas. It was observed that lower emissions can be expected from systems with low organic carbon input.

Palavras-chave: geoestatística, no-tillage, conventional tillage, minimum tillage, native forest

1. INTRODUÇÃO GERAL

Com o passar das últimas décadas mudanças climáticas vêm sendo notadas, principalmente no comportamento das variáveis como taxas de precipitação, temperatura e umidade do ar (THOMPSON et al., 2006). Estes fenômenos ocorrem em decorrência do aquecimento global, que é diretamente influenciado pelas emissões dos gases do efeito estufa (GEE's), tratam-se principalmente dos gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). O gás carbônico é caracterizado pela sua grande importância para atmosfera, ele permite o equilíbrio de temperatura na Terra, fazendo parte do que chamamos de “efeito estufa” natural. Mas com passar dos tempos o CO_2 , vem sendo gerado de forma excessiva, por ações antrópicas (sistemas de produção, desmatamento e queima de combustíveis fósseis) e processos naturais como a erupção e respiração aeróbica (NASA, 2017). O metano é um hidrocarboneto resultado de atividades naturais (decomposição anaeróbica) e antrópicas como a agricultura e decomposição de resíduos como lixo e esgoto. O óxido nitroso é proveniente dos processos naturais de nitrificação e desnitrificação e de processo antrópico de cultivo (NASA, 2017). Conforme a NASA (2017) o potencial de aquecimento global baseia-se na probabilidade que uma molécula tem de proporcionar aumento do efeito estufa em determinado período de tempo, assim o metano é 30 vezes em equivalência do que o gás carbônico e o óxido nitroso considerado o mais poderoso é cerca de 310 vezes.

Embora a agricultura seja uma importante fonte emissora de GEE's para atmosfera, existe a possibilidade desta atividade se comportar como potencial dreno

dos GEE's, especialmente CO₂, dependendo das práticas empregadas no manejo do solo. O solo é o maior reservatório natural de carbono no ecossistema terrestre, aproximadamente 40 % do carbono encontra-se na forma orgânica (LAL, 2004), isto denota a importância da dinâmica da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de uso e manejo como um sumidouro de CO₂ atmosférico. De acordo com Cerri et al. (2006) se considerarmos apenas na faixa de 0 a 0,30 m de profundidade do solo, o estoque aproximado de C chega a 800 Pg, o que corresponde a mesma quantidade encontrada na atmosfera, tornando-se então fundamental o estudo sobre a dinâmica do carbono no solo em especial o fluxo de CO₂ em diferentes sistemas de manejo.

A produção de CO₂ pelo solo é o reflexo da atividade biológica e bioquímica do solo, como decomposição da biomassa, incluindo a atividade microbiana e a respiração de raízes. O dióxido de carbono produzido é transportado para a atmosfera por meio da difusão e do fluxo de massa. A difusão consiste no movimento do gás da zona de maior concentração para a zona de menor concentração, e o fluxo de massa, que ocorre em função de um gradiente de pressão. Inúmeros fatores influenciam os processos de produção e transporte de CO₂, sendo, portanto, condicionadores da variabilidade espacial e temporal da emissão solo-atmosfera. Devido a sua importância estudos vem sendo desenvolvidos para se conhecer o fluxo de CO₂, portanto torna-se preciso entender a dinâmica em diferentes sistemas de manejo como preparos do solo e da vegetação nativa da região.

Entre os principais tipos de preparo do solo estão Sistema de Plantio Direto (SPD), preparo convencional (PC) e Cultivo Mínimo (CM) ou reduzido. O SPD é uma prática conservacionista do solo. De acordo com dados da Federação Brasileira de Plantio Direto, estima-se que a área nacional cultivada em plantio direto, no ano agrícola 2011/2012, tenha sido em torno de 31,8 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2013). Este sistema de manejo do solo merece atenção, pois é uma alternativa viável para muitas das preocupações geradas pelo sistema de preparo convencional do solo. Dentre as melhorias ocasionadas pelo SPD temos a minimização dos processos erosivos causados em solos descobertos por longos períodos durante o ano, aumento do armazenamento e disponibilidade de água e manutenção do lençol freático, que reflete positivamente sobre a produtividade das culturas agrícolas, principalmente quando ocorre restrição hídrica durante seu ciclo de desenvolvimento.

O PC é um sistema de cultivo dos campos utilizando as técnicas tradicionais de preparo do solo, baseando-se no cultivo agrícola seguindo o processo de revolver

o terreno agrícola com um arado, equipamento mecânico tracionado, após a aração, o solo ainda poderá conter muitos torrões, o que dificultaria a emergência das Plantas e o estabelecimento das culturas assim, a segunda operação realizada é a gradagem. O CM reduz o trabalho de revolvimento do solo, e operação geralmente é realizada por meio de um escarificador podendo ser composto das seguintes operações: sistematização do terreno, distribuição do corretivo na superfície e capina química.

Evidencia-se a importância do estudo acerca do FCO_2 , para se caracterizar melhor o balanço de carbono, gerado pela respiração do solo, em diferentes tipos de uso do solo, pois o carbono é liberado devido processos que envolvem principalmente a matéria orgânica do solo, ocorrendo de modo diferenciado em cada tipo de preparo do solo (BURAGIENÉ et al., 2015; OERTEL et al., 2015).

2. CAPÍTULOS

2.1. VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

Resumo

Umas das influenciadoras dos processos globais que determinam a mudança climática é a produção agrícola intensiva. Objetivou-se, caracterizar o padrão da variabilidade espacial da emissão de CO₂ do solo (FCO₂) e atributos físicos em áreas com três sistemas de preparo do solo distintos. O estudo foi conduzido na IFES-campus Santa Teresa-ES, em uma área com pivô central, em condições de seca reconhecida, entre ago/2016 e mar/2017. Os sistemas de preparo do solo contemplados foram sistema de plantio direto (SPD), cultivo mínimo (CM) e preparo convencional (PC), as malhas amostrais adotadas foram no arranjo de 4x25; 3x34 e 6x16 ambas espaçadas 6x12,5 m; contando com 100, 101 e 99 pontos respectivamente. Para a determinação do FCO₂ se fez uso de um analisador de gás infravermelho (IRGA) de circuito fechado, marca Li-Cor, modelo LI-8100A, também foram realizadas simultaneamente as leituras da temperatura e umidade do solo; e retiradas amostras de solo próximas aos colares, faixa de profundidade de 0 - 0,20 m, a fim de determinar os atributos do solo: densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e resistência a penetração do solo. As análises geoestatísticas dos parâmetros dos semivariogramas, foram estimadas com o uso da do *Software* GS+. Nas áreas de estudado o FCO₂ variou de 0,53 a 4,99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a variação nas áreas PD, CM e PC foram 25, 36 e 37% respectivamente. O PC apresenta menor capacidade física do solo, quando comparado aos preparos conservacionistas, sofrendo interferência mais acentuada das variáveis ambientais.

Palavras-chave: semivariograma, ciclo do carbono, sistema de plantio direto, cultivo mínimo, preparo convencional

Abstract

One of the influencers of the global processes that determine climate change is intensive agricultural production. The objective of this study was to characterize the spatial variability of soil CO₂ emission (FCO₂) and physical attributes in areas with three different soil tillage systems. The study was conducted at IFES-campus Santa Teresa-ES, in a central pivot area, under drought conditions, between August 2016 and March 2017. Soil preparation systems were: no - tillage (NT), minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT), the sampling mesh adopted was in the 4x25 arrangement; 3x34 and 6x16 both spaced 6x12.5 m; counting on 100, 101 and 99 points respectively. For the determination of the FCO₂, a Li-Cor brand LI-8100A closed-loop infrared gas analyzer (IRGA) was used; the temperature and soil moisture readings were also performed simultaneously; and soil samples close to the collars, depth range 0 - 0.20 m, to determine soil attributes: density, total pore volume, macroporosity, microporosity and resistance to soil penetration. The geostatistical analyzes of the semivariograms parameters were estimated using the GS + Software. In the studied areas the FCO₂ varied from 0.53 to 4.99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, the variation in the NT, MT and CP areas were 25, 36 and 37% respectively. The PC presents lower soil physical capacity, when compared to the conservationist preparations, suffering more pronounced interference of the environmental variables.

Key words: semivariogram, carbon cycle, no-tillage, conventional tillage, minimum tillage

2.1.1. Introdução

A produção agrícola mundial é imensamente afetada pelas mudanças climáticas, tais como precipitação, temperatura, teor de água no solo e radiação solar que são variáveis que diretamente afetam as emissões de CO₂ no solo. O relatório elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2014) detalha as consequências atuais das mudanças climáticas, concluindo que o desafio climático aumentará o risco de redução da produtividade principalmente em decorrência do estresse pelo calor e seca até o ano de 2030.

As emissões de gases do efeito estufa (GEE's) contribuem para as mudanças climáticas, sendo objeto de estudos sobre seus efeitos, causas e fatores de mitigação (BOLIN, 1986; LASHOF et al., 1990; OERTEL et al., 2015; RIAHI et al., 2017; NAWAZ et al., 2017). Estima-se que a agricultura em âmbito mundial contribui com aproximadamente 22 % das emissões totais de dióxido de carbono, 80 % das emissões de óxido nitroso e 55 % das emissões de metano. Entretanto, no Brasil, como reflexo da importância da agricultura na economia, estima-se que 75% das emissões de CO₂, 94% das emissões de N₂O e 91% das emissões de CH₄ sejam provenientes de atividades agrícolas, incluindo a conversão de florestas para tal uso. Essas elevadas emissões de GEE's atribuídas à agropecuária nacional despertam uma grande discussão quanto a sustentabilidade dessa atividade (IPCC, 2016). Por outro lado, conforme Lal (2004) os solos submetidos a manejos conservacionistas, num período entre 25 e 50 anos de cultivo, possuem capacidade de armazenar valores entre 30 e 60 Pg de C; esta possibilidade elevar o estoque de C no solo ao mesmo tempo garante boas condições ao desenvolvimento das culturas, aumentando a produção de alimentos.

Batola et al. (1998) ao desenvolver um estudo no Bioma Mata Atlântica determinando o quociente metabólico e biomassa microbiana, em duas áreas de cultivo, uma com sucessão de culturas, outra com Preparo convencional; concluiu que a prática do plantio direto proporciona maior biomassa microbiana e menor perda relativa de C via respiração, podendo determinar, assim, maior acúmulo de C no solo a longo prazo. D'Andrea et al. (2010) ao trabalhar em uma área de fragmento remanescente de mata nativa do tipo floresta estacional semidecídua montana (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994), determinando a variabilidade espacial da emissão de CO₂ encontrou valores entre 0,67 e 4,26 g m⁻² h⁻¹ de CO₂, não encontrando variabilidade espacialmente estruturada na escala de amostragem adotada.

Surge então necessidade de mitigar os efeitos dessas emissões de C na agricultura, assim alternativas como agricultura de baixo carbono e manejos conservacionistas, veem ganhando grande espaço (NORSE, 2012). O sistema agrícola convencional utiliza o solo como suporte para suas atividades, deste modo conhecer as emissões de GEE's é fundamental.

Dentre os processos de uso do solo estão os manejos não conservacionistas como preparo convencional do solo e os manejos conservacionistas como o sistema de plantio direto e o cultivo mínimo.

O preparo convencional consiste nas operações de aração seguida de sucessivas gradagens para adequar a superfície do solo para receber as sementes; o que é um problema que se agrava pelo fato desta operação ser realizada, no mínimo, duas vezes ao ano na agricultura brasileira (MACHADO, 2005).

O plantio direto é um sistema conservacionista que ganhou espaço entre os produtores, de acordo com dados da Federação Brasileira de Plantio Direto, estima-se que a área nacional cultivada em plantio direto, no ano agrícola 2011/2012, tenha sido em torno de 31,8 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2013).

Uma outra forma de preparo do solo é o cultivo mínimo, a qual se diferencia dos preparos convencionais pela redução de operações durante o cultivo; esse sistema que mobiliza menos o solo em relação aos sistemas convencionais, também são denominados preparos reduzidos, sendo caracterizado pelo uso do implemento denominado escarificador.

Siqueira Neto et al., (2011) ao avaliar diferentes sistemas de uso do solo (conservacionistas e convencionais) no Bioma Cerrado, salienta que as mudanças no manejo e o requerimento de produtividade fazem com que a biologia do solo se trabalhe ativamente, para degradar os resíduos presentes, gerando assim como produto da respiração aeróbica o CO₂.

Além de caracterizar a FCO₂ é preciso também conhecer seu comportamento espacial, e nesse sentido trabalhos foram desenvolvidos em diversas regiões do país (PANOSSO et al., 2008; PANOSSO et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2010; MOITINHO et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2013; BICALHO et al., 2014; TAVARES et al., 2016; FÓTI et al., 2016). No entanto, na região da Mata Atlântica do Estado do Espírito Santo para o nosso conhecimento poucos estudos com sistema de plantio direto foram realizados. Além disso temos o agravante da crise hídrica atestada pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH-ES) que relatou que entre os anos de 2016 e 2017 o Estado passou pela pior estiagem dos últimos 80 anos. Associada a estimativa do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), que relata que o Espírito Santo enfrentou uma crise hídrica de três anos, entre o período de 2015 a 2017; o que incluiu a área de estudo situada em Santa Teresa como evidenciam os relatórios de balanço hídrico anuais divulgados (Incaper, 2018).

Diante desse contexto, a hipótese do presente estudo baseia-se no fato de que, a variação espacial da FCO₂ pode ser explicada por meio da variabilidade dos

atributos físicos do solo. Desta forma, objetivou-se caracterizar o padrão da variabilidade espacial da FCO_2 e atributos físicos em áreas com três sistemas de preparo do solo distintos.

2.1.2. Material e métodos

2.1.2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido na área experimental (FIGURA 1) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - *Campus Santa Teresa* ($19^{\circ}48'17''\text{S}$, $40^{\circ}40'34''\text{O}$), situado no município de Santa Teresa, Espírito Santo.

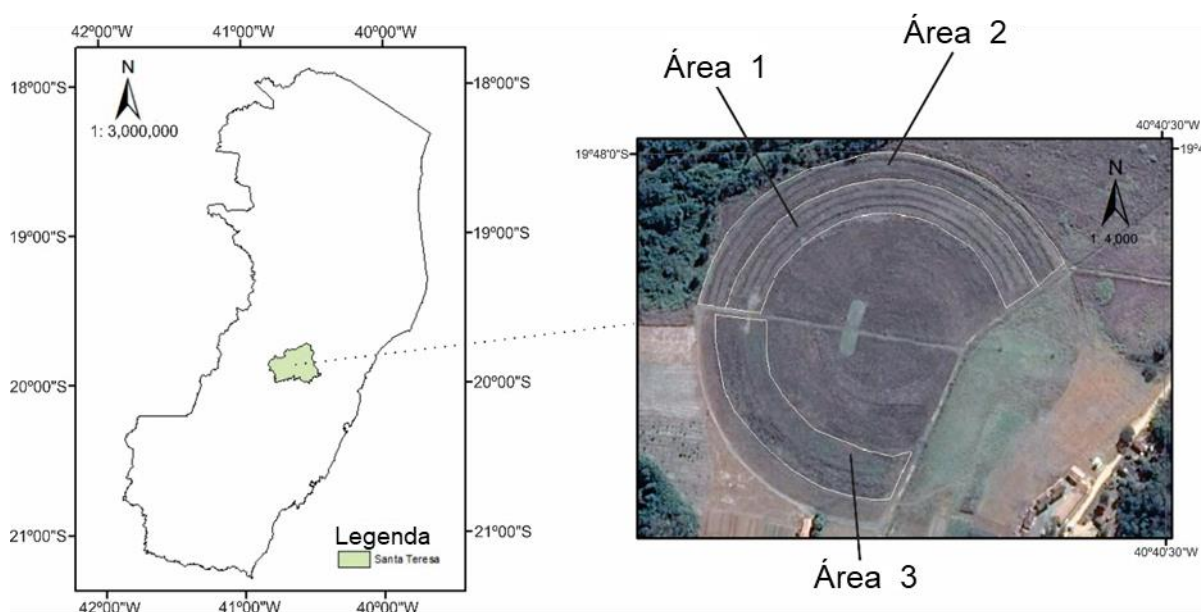


FIGURA 1. Figura ilustrativa com mapa da localização do município de Santa Teresa no Estado do Espírito Santo; área de estudo Área 1: sistema de plantio direto; Área 2: cultivo mínimo; Área 3: preparo convencional.

A altitude média de 125 m acima do nível do mar. O clima da região é caracterizado segundo a classificação de Köppen como temperado úmido, Cwa, com inverno seco e verão quente. De acordo com a estação meteorológica instalada no IFES, a precipitação média anual é de 1.161 mm, com temperatura média anual de 24,4 °C. As condições climáticas durante o estudo são observadas na FIGURA 2.

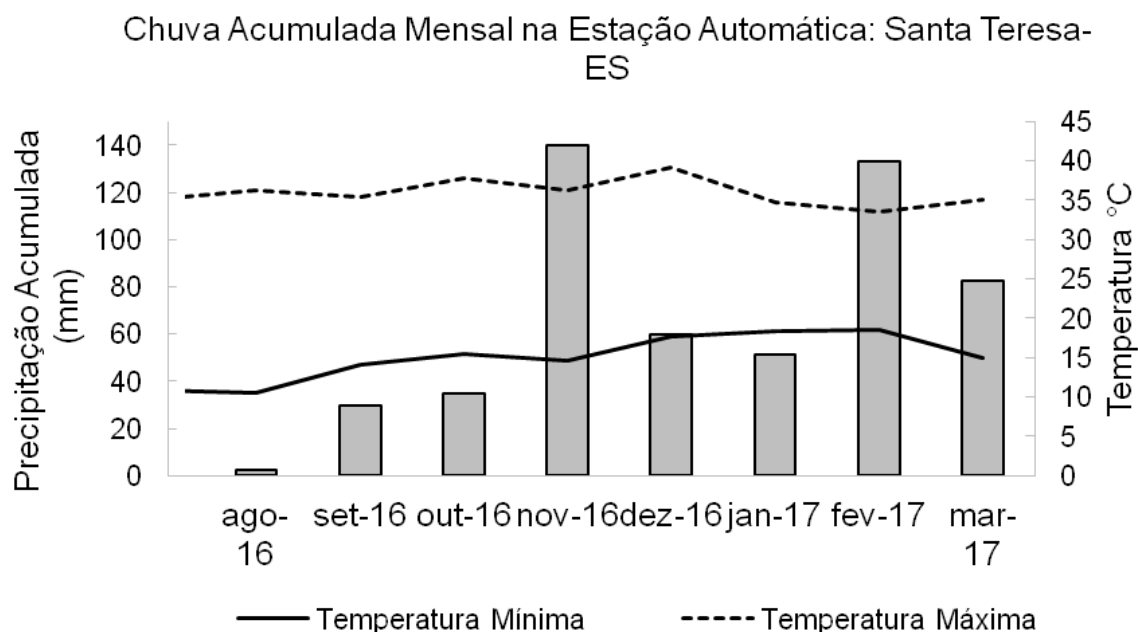


FIGURA 2. Dados meteorológicos durante a realização do estudo.

O solo predominante no local do estudo é um Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013) de textura argilosa (TABELA 1). O estudo foi desenvolvido durante os meses de agosto/2016 a março/2017. Os preparos do solo foram realizados sob a área de um pivô central com área total de 12 ha (FIGURA 1).

TABELA 1. Análise granulométrica do solo, na faixa de 0 a 0,20 m de profundidade

Partículas	Porcentual (%)
Argila	63
Silte	7
Areia	30

2.1.2.2. Caracterização da área de estudo

O SPD foi adotado em uma área de seis hectares desde o ano de 2009, com realização de rotação de culturas (feijão - milho - mucuna ou sorgo) onde o principal objetivo é a produção de grãos. Os cultivos sempre realizados de modo mecanizado, por meio de máquinas especializadas para plantio direto como nos demais preparos.

O PC do solo é realizado há mais de 50 anos na totalidade (sete hectares); nos últimos anos implantou-se a cultura do milho, destinado a silagem. A área utilizada para estudo contou com 2,5 ha (FIGURA 1). O preparo do solo foi caracterizado pelas operações de aração seguida por duas gradagens, as especificações técnicas dos implementos estão no QUADRO 1.

O CM foi implantado em uma área onde se realizavam algumas práticas conservacionistas como o plantio direto e pousio. As operações mecanizadas consistiram apenas no uso de um cultivador (QUADRO 1).

QUADRO 1. Especificações técnicas das máquinas e implementos utilizados para implantação dos sistemas de preparo do solo na área de estudo

Máquina e/ou implemento	Especificações técnicas
Trator	Marca <i>New Holland</i> , modelo TL 85 E, tração dianteira auxiliar; motor MWM, potência de 83 cv a 2400 rpm; turbo aspirado;
Arado de discos	Marca Super Tatu, reversível modelo AR-PR; largura de corte de 800 a 900 mm; três discos de 28 polegadas, massa total 560 kg
Grade niveladora destorroadora	Marca Kohler®, modelo 195 3220, tipo offset, largura de trabalho 2350 mm; 32 discos de 20 polegadas
Cultivador de enxadas tipo bico de pato	Marca Super Tatu, modelo CE; 9 hastes, comprimento do chassi de 2800 mm; massa total 188 kg

2.1.2.3. Emissão de CO₂ do solo

As leituras de fluxo CO₂ do solo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram realizadas por meio de uma câmara de sistema fechado automático (LI-COR® Biosciences, Lincoln, NE, USA), que utiliza um analisador de gás infravermelho modelo LI-8100A, com câmara opaca, modelo LI-8100-104C. Esse sistema trabalhou amostrando a concentração de gás carbônico por espectroscopia de absorção óptica. Para operação do sistema foi necessária a instalação dos colares de tubo PVC, apresentando as dimensões de 0,203 m de diâmetro por 0,1143 m de altura (FIGURA 3), uma vez que, seu uso é justificado para prevenção de distúrbios que a inserção direta da câmara no solo poderia causar, como a alteração na estrutura porosa do solo, que influenciaria diretamente a emissão de CO₂ do solo, superestimando a leitura.

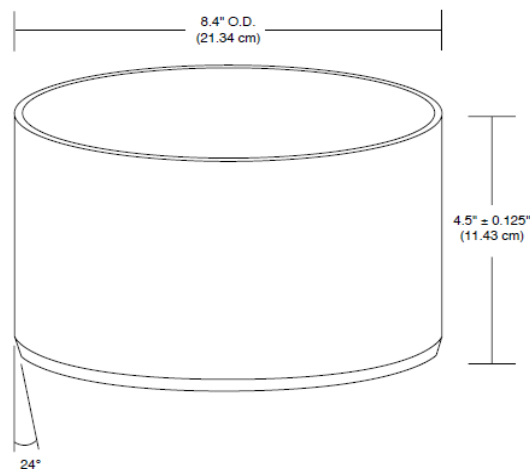


FIGURA 3. Dimensões dos colarinhos de solo de 20,3 cm (8"). Fonte: LI-COR

Os colares de PVC foram inseridos no solo, com *chamber off-set* (da parte superior do colar acima da superfície do solo) de 0,02 m. Para sua instalação a matéria seca sob o solo foi cortada (apenas para fixação do colar), afim de não modificar a composição da cobertura do solo. Os colares foram instalados 180 dias antes das leituras. Em cada sistema de preparo as leituras se deram ao longo de um dia, sendo finalizadas em três dias. Cada leitura teve a duração de 2 minutos, com a aferição a concentração de gás carbônico no interior da câmara a cada segundo.

2.1.2.4. Temperatura e umidade do solo

A temperatura e o teor de água no solo foram amostrados simultaneamente as leituras do FCO₂. O equipamento utilizado foi o sensor misto temperatura/umidade 5TM da *Decagon Devices®*, devidamente calibrado. A amostragem foi realizada a distância de 0,10 m de distância a partir da parte externa do colar de PVC, atingindo uma profundidade de 0,05 m.

2.1.2.5. Amostragem de solo

Determinaram-se densidade do solo, densidade de partículas, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e resistência a penetração do solo.

A densidade do solo foi amostrada na faixa de profundidade de 0,00 a 0,20 m, com o auxílio do trado de Uhland e um anel volumétrico. A densidade das partículas foi determinada por meio do método do balão volumétrico. A porosidade total foi obtida pela relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas. A microporosidade foi determinada empregando-se mesa de tensão (6 kPa) e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a Microporosidade (DONAGEMA et al., 2011).

A resistência do solo à penetração foi coletada na faixa de profundidade de 0,00 a 0,20 m sendo seus valores expressos em MPa, obtida por meio de um penetrômetro de bancada, marca Marconi®, modelo MA933, cone tipo 2 de 129 mm² de área da seção transversal, sendo o solo na umidade da capacidade de campo.

2.1.2.6. Variabilidade Espacial

Foram instaladas três malhas amostrais distintas, sistema de plantio direto cultivo mínimo e preparo convencional; as malhas foram definidas em conformidade com o desenho de cada área pesquisada. Na área de Sistema de Plantio Direto os pontos foram dispostos no arranjo de 4 x 25, cultivo mínimo 3 x 34 e 6 x 16 ambas espaçadas 6 x 12,5 m; contando com 100, 101 e 99 pontos.

Para as análises de emissão de CO₂, temperatura e umidade foram realizadas três amostragens por ponto da grade amostral. Para as variáveis do solo macroporosidade, microporosidade, densidade foi coletada uma amostra por ponto da grade amostral.

A estatística descritiva e os semivariogramas experimentais das variáveis FCO₂, temperatura do solo, teor de água no solo, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência a penetração do solo nas áreas de SPD, CM e PC foi verificada a ocorrência da dependência espacial, com base na estacionaridade (WEBSTER e OLIVER, 1990). As semivariâncias foram estimadas por meio da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde, $\gamma(h)$ é a semivariância a uma distância h ; $N(h)$ é o número de pares separados pela distância h ; $z(x_i)$ é o valor da variável z no ponto x_i e $z(x_i + h)$ é o valor da variável z no ponto $x_i + h$.

Conforme Isaaks e Srivastava, (1989) o semivariograma assume um comportamento sistemático descrito por modelo teóricos (como esférico, gaussiano e exponencial).

$$\text{Gaussiano: } \gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] \right\}, 0 < h < d$$

$$\text{Exponencial: } \gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right\}, h > 0 \quad (2)$$

$$\text{Esférico: } \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]; \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; \text{ se } h \geq a$$

Onde d é a distância máxima sobre a qual o semivariograma é definido; a é a distância de alcance; C_0 é o efeito da pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). O valor de semivariância aumenta com a distância de separação dos pontos (distância h) até uma distância que o patamar $C_0 + C_1$ permanece constante. O efeito de pepita C_0 é o valor onde o modelo teórico ajustado cruza o eixo y . A distância de alcance (a) é o limite da dependência espacial entre pontos.

A técnica de validação cruzada foi empregada para estimar a representatividade do modelo teórico escolhido (FARACO et al., 2008). O melhor modelo para o ajuste dos semivariogramas experimentais foi baseado no coeficiente de determinação da validação cruzada (r^2) e na soma dos quadrados dos resíduos (SQR). O melhor ajuste dos modelos selecionados baseou-se no menor RSS; e o r^2 do modelo mais alto (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). O índice de dependência espacial (IDE) foi determinado pela razão ($C_1 / (C_0 + C_1)$), classificada pelos seguintes intervalos: forte dependência espacial para IDE < 25%, moderada para 25% < IDE < 75% e baixa para IDE > 75% (CAMBARDELLA et al., 1994). Depois de ter gerado todos os modelos de semivariograma e a dependência espacial confirmada, os valores para cada variável foram estimados para áreas não amostradas e os mapas de distribuição espacial foram gerados usando o método de interpolação de krigagem.

Análises estatísticas descritivas, os modelos de variabilidade espacial e os mapas de Krigagem obtidos usando o software GS+ (Gamma Design Software, LLC, Plainwell, MI, EUA, 1998).

2.1.3. Resultados

2.1.3.1. Emissão de CO₂ do solo

Ao observar a estatística descritiva do FCO₂ na tabela 1, nos locais estudados o FCO₂ variou de 0,53 a 4,99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sendo o maior valor médio (2,84 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) encontrado na área de SPD. Já o menor valor médio de FCO₂ (2,10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi encontrado no PC. Os valores encontrados para o coeficiente de variação nas áreas PD, CM e PC foram 25, 36 e 37% respectivamente. Nos três sistemas de preparo avaliados os FCO₂ do solo não assumiram distribuição normal, conforme teste de Shapiro-Wilk a 5 % de probabilidade, evidenciando a não aleatoriedade espacial desta variável.

2.1.3.2. Temperatura e umidade do solo

Os valores médios da T e US nas áreas de estudo estão apresentados na tabela 1. O maior T médio (44,3 °C) foi obtido no PC; o menor valor (36,65 °C) encontrado foi na área com CM. As US médias encontradas foram 0,109; 0,106; 0,089 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente nas áreas de SPD, PC e CM. O PC obteve a maior variação para T (16%), contando com a maior amplitude térmica (27,6 °C). A maior variação para US foi encontrada no CM 29%.

TABELA 2. Continuação

SPD	1,46	1,47	1,23	1,71	0,10	7%	0,06	0,43	S
CM	1,48	1,47	1,12	1,91	0,12	8%	0,30	1,48	S
PC	1,42	1,43	1,21	1,64	0,09	6%	-0,13	-0,41	S
VTP ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)									
SPD	0,469	0,471	0,20	0,58			-1,71	8,06	N
CM	0,456	0,459	0,29	0,55	0,05	10%	-0,86	1,79	N
PC	0,479	0,483	0,39	0,53	0,04	8%	-0,50	-0,35	N
Ma ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)									
SPD	0,073	0,0689	0,01	0,020	0,06	15%	1,22	2,89	N
TABELA 2. Continuação									
CM	0,073	0,069	0,02	0,012	0,02	30%	0,13	-0,42	N
PC	0,100	0,093	0,02	0,025	0,05	52%	1,03	1,82	S
Mi ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)									
SPD	0,399	0,4013	0,11	0,65	0,06	15%	-0,80	10,2	N
CM	0,385	0,3880	0,26	0,49	0,04	10%	-0,63	1,96	N
PC	0,379	0,384	0,09	0,48	0,06	15%	-2,05	7,02	N
RPS (MPa)									
SPD	3,22	3,05	1,27	6,2	0,98	30%	0,64	0,24	N
CM	1,70	1,64	0,547	3,70	0,54	31%	0,78	1,43	N
PC	3,54	3,41	0,59	7,96	1,41	40%	1,10	1,85	N

2.1.3.4. Variabilidade Espacial

Nas áreas estudadas os padrões de variabilidade espacial foram melhor estabelecidos com o uso dos modelos isotrópicos. Conforme a TABELA 3 os maiores valores de alcance foram encontrados na área com CM para a variável RPS (76,2 m) e Ma (65 m). A dependência espacial (IDE), razão entre C_0 o efeito da pepita, $C_0 + C_1$ e o patamar, as dependências espaciais obtidas apresentaram-se moderadas ($>25\%$ a $75\%<$) á baixas IDE ($> 75\%$). As variáveis VTP no SPD; Ma E RPS na área 3 apresentaram efeito pepita puro.

Outra medida que determina a variabilidade dos dados é o coeficiente de variação (CV), que conforme os limites propostos por Wilding e Drees (1983), indicando baixa variabilidade ($CV < 15\%$) para MA no SPD, US no PC e nas três áreas de estudo nas variáveis Ds, T, VTP, Mi; moderada ($15\% < CV < 35\%$) para no SPD US,

FCO₂ e RPS; para o CM US, FCO₂, RPS, Ma e no PC a variável T; alta (CV > 35%) para FCO₂, RPS, Ma na área de PC e FCO₂ na área de CM (TABELA 3).

Nos ajustes dos semivariogramas cruzados (FIGURA 5), verifica-se que o alcance para a CM: FCO₂xVTP foi de 343 m e FCO₂xMi 162 m; representando um aumento de 6 e 3 vezes, respectivamente, quando comparados aos semivariogramas simples (TABELA 3). Já para os semivariogramas cruzados das áreas de SPD e PC para FCO₂xT (FIGURA 5), onde os alcances ajustados foram menores que simples (TABELA 3). Podemos observar os mapas simples gerados através da krigagem (FIGURA 4) a distribuição espacial que as variáveis de estudo assumiram.

TABELA 3. Modelos e parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais dos atributos do solo

		Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a (m)	R ²	IDE (%)	r ²	SQR
SPD	FCO ₂	Esf.	2,5 10 ⁴	5,4 10 ⁵	25,5	0,90	95,4	0,53	7,8 10 ⁹
	T	Gau.	10 ⁴	2,8 10 ⁷	20,4	0,97	100	0,92	1,3 10 ¹³
	US	Esf.	1	452	19,9	0,87	99,8	-0,09	4 904
	Ds	Gau.	10	8,6 10 ³	15,9	0,93	99,9	0,573	6,1 10 ⁵
	VTP	Epp*							
	Ma	Esf.	523	1,5 10 ³	39,5	0,99	65,0	0,157	1,2 10 ³
	Mi	Esf.	1,2 10 ³	2,4 10 ³	49,7	0,90	50,0	0,38	6,2 10 ⁴
	RPS	Esf.	10 ³	9,5 10 ⁵	19,8	0,91	99,9	0,142	1,6 10 ¹⁰
	FCO ₂	Esf.	3,8 10 ⁵	6,0 10 ⁵	56,5	0,99	37,9	0,88	2,1 10 ⁸
CM	T	Exp.	6,9 10 ⁶	1,2 10 ⁷	39,5	0,97	39,5	0,77	2,3 10 ¹¹
	US	Exp.	1	486	17,25	0,92	99,8	0,28	3 10 ³
	Ds	Gau.	10	1,2 10 ⁴	17,59	0,85	99	0,62	1,2 10 ⁷
	VTP	Esf.	611	1,7 10 ³	51,0	0,99	64,4	0,82	2,7 10 ³
	Ma	Esf.	299	502	65	0,96	40,4	0,62	469
	Mi	Esf.	377	1,1 10 ³	39,9	0,89	67,3	0,66	3,3 10 ⁴
	RPS	Esf.	1,1 10 ⁶	2,6 10 ⁶	76,2	0,93	55,9	0,78	1,1 10 ¹¹
	FCO ₂	Esf.	2,5 10 ⁵	5 10 ⁵	56,00	0,617	50	0,79	2,3 10 ⁻¹⁰
	T	Esf.	2,4 10 ⁷	5 10 ⁷	33,7	0,908	54,2	1,31	1,9 10 ¹³
PC	US	Esf.	1	2, 10 ²	19,2	0,984	99,5	0,33	112
	Ds	Esf.	5,3 10 ³	7,7 10 ³	56,04	0,9	31	1,06	3,6 10 ⁵
	VTP	Esf.	1	1,1 10 ³	24,9	0,948	99,9	0,57	3,4 10 ⁴
	Ma	Epp*							
	Mi	Esf.	10	4 10 ³	18,36	0,799	99,8	0,13	7,5 10 ⁵
	RPS	Epp*							

N = 100; * Epp= Efeito pepita puro; C₀ = efeito pepita; C₀ + C₁ = patamar; a = alcance (m); IDE = índice de dependência espacial; R² = coeficiente de determinação do modelo; r²= coeficiente de determinação do ajuste da validação cruzada; SQM = soma dos quadrados dos resíduos; FCO₂ = emissão de CO₂ do solo; T = temperatura do solo; US = umidade do solo; DS = densidade do solo; Ma= macroporosidade; Mi= microporosidade; VTP = volume total de poros; RPS= resistência a penetração do solo.

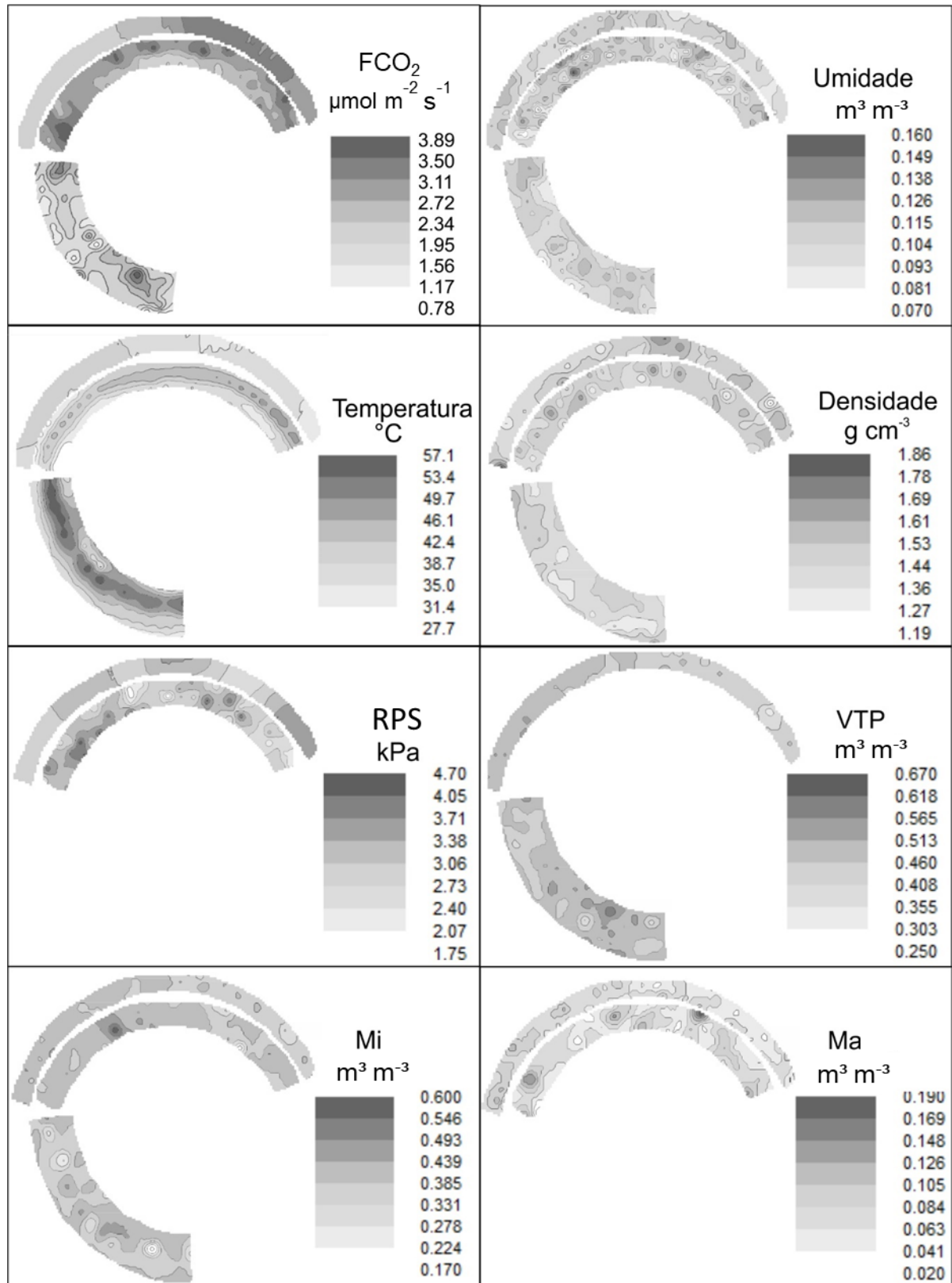


FIGURA 4. Mapas obtidos por meio de Krigagem da emissão de CO₂ (C-CO₂), umidade, temperatura, densidade, resistência mecânica a penetração do solo (RMPS), volume total de poros (VTP), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) das áreas de estudo.

Conforme as correlações de Pearson (TABELA 4) podemos observar que o FCO₂ apresentou correção positiva nos sistemas de preparo SPD e PC apenas com a T do solo (0,31 e 0,30 respectivamente) já no CM foram encontradas correlações negativas para Mi e VTP (-0,30 e -0,31 respectivamente).

TABELA 4. Correlações Pearson para as variáveis de estudo

Sistema de Plantio Direto								
	FCO ₂	T °C	US (m ³ m ⁻³)	Den (g cm ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma % (m ³ m ⁻³)	VTP %	RPS (MPa)
FCO ₂	1							
T °C	0,31*	1						
US m ³ m ⁻³	0,07	0,10	1					
Ds (g cm ⁻³)	-0,02	0,09	0,13	1				
Mi (m ³ m ⁻³)	-0,03	-0,15	-0,05	-0,28*	1			
Ma (m ³ m ⁻³)	-0,09	-0,02	-0,19	-0,19*	-0,35*	1		
VTP %	-0,08	-0,17	-0,17	-0,41	0,81*	0,27*	1	
RPS (MPa)	0,14	0,21	0,12	0,40*	0,06	-0,25*	-0,10	1
Cultivo Mínimo								
	FCO ₂	T °C	US (m ³ m ⁻³)	Den (g cm ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma % (m ³ m ⁻³)	VTP %	RPS (MPa)
FCO ₂	1							
T °C	-0,11	1						
US m ³ m ⁻³	-0,13	-0,23	1					
Ds (g cm ⁻³)	0,16	-0,21	-0,03	1				
Mi (m ³ m ⁻³)	-0,31*	0,05	-0,14	-0,27*	1			
Ma (m ³ m ⁻³)	-0,06	0,33*	-0,14	-0,24	0,00	1		
VTP %	-0,30*	0,22	-0,20	-0,35*	0,85*	0,53*	1	
RPS (MPa)	0,17	-0,28*	-0,03	0,41*	-0,01	-0,39*	-0,22	1
Preparo Convencional								
	FCO ₂	T °C	US (m ³ m ⁻³)	Den (g cm ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma % (m ³ m ⁻³)	VTP %	RPS (MPa)
FCO ₂	1							
T °C	0,30*	1						
US m ³ m ⁻³	0,15	0,29*	1					
Ds (g cm ⁻³)	-0,05	-0,15	-0,03	1				
Mi (m ³ m ⁻³)	-0,04	-0,01	0,06	0,23*	1			
Ma (m ³ m ⁻³)	0,04	0,03	-0,06	-0,18	-0,83*	1		
VTP %	0,00	0,02	0,01	0,07	0,27*	0,32*	1	
RPS (MPa)	0,00	-0,05	0,02	0,52*	0,23*	-0,19*	0,05	1

*Os coeficientes significativos para a correlação de Pearson ($p < 0,05$). Fluxo de CO₂ (FCO₂), temperatura do solo (T), Umidade do solo (US), Densidade do solo (Ds), Volume Total de poros (VTP), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Resistência a Penetração do solo (RPS); para as áreas de estudo (n=100)

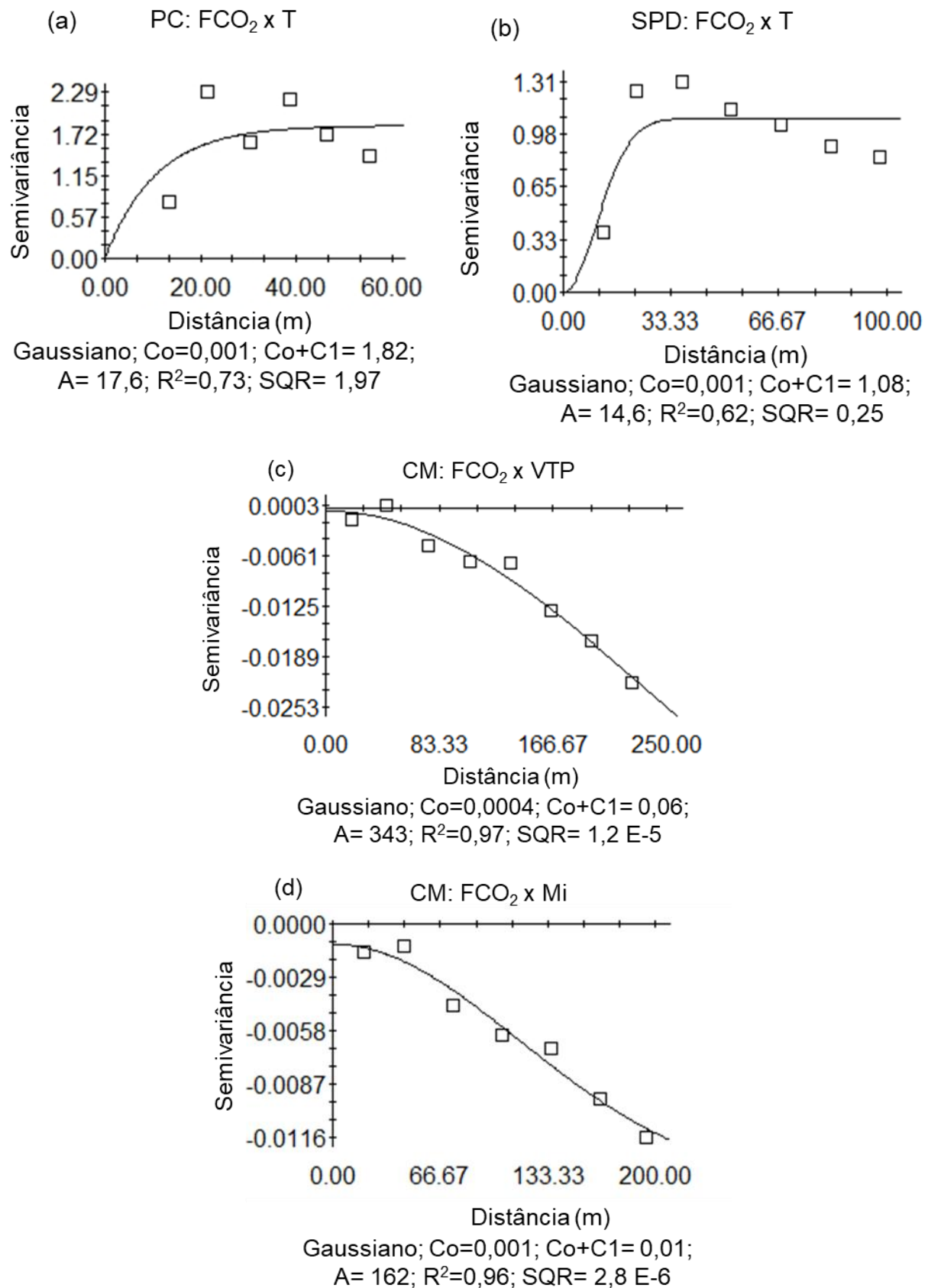


FIGURA 5. Semivariogramas cruzados do $\text{FCO}_2 \times T$, para os sistema de preparo SPD (a) e PC (b); $\text{FCO}_2 \times \text{Mi}$ (c) e $\text{FCO}_2 \times \text{VTP}$ (d) para o CM.

2.1.4. Discussão

A similaridade observada entre os resultados avaliando todos os atributos, (média e mediana) indicando distribuição simétrica, é confirmada pelos valores de simetria próximos de zero (TABELA 2). De acordo com Isaaks & Srivastava (1989), o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos do que a média, mediana e o desvio-padrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

A normalidade encontrada para a variável densidade do solo entre as áreas estudadas pode estar relacionada homogeneidade que a área possui. Para a umidade do solo no sistema de plantio direto o resultado semelhante pode ser explicado pela ausência de preparo em área total e as condições durante a leitura dos dados; trata-se da área com maior quantidade de matéria seca cobrindo o solo, não sendo esta distribuída regularmente na área em sua totalidade. O mesmo aconteceu com área de cultivo mínimo onde a T e a Ma manifestaram comportamento principalmente pelo histórico da área que estava em pousio e devido a operação com o cultivador. Embora a normalidade dos dados das variáveis não seja condição básica para aplicação de métodos geoestatísticos, Paz-Gonzalez et al. (2001) afirmam que, quando satisfeita a normalidade dos dados, a estimativa de valores em locais não medidos, utilizando-se o método da krigagem na interpolação, tem sua eficiência aumentada, apresentando melhores resultados em relação a outros métodos.

Os coeficientes de variação nas áreas de SPD e CM apresentam em sua maioria menores variabilidades, principalmente devido ao fato do manejo que consiste no não revolvimento do solo estar sendo empregado nos últimos anos; apesar dessas áreas compartilharem de um mesmo histórico, nos últimos dez anos vem sendo utilizadas de diferentes modos.

Os parâmetros avaliados no semivariogramas, o efeito pepita (C_0) encontrado que corresponde a variabilidade que não pode ser explicada, esta principalmente devido a erros de medição ou variação não detectada pela escala de amostragem. Outro componente do semivariograma é a contribuição (C) que consiste na diferença entre o patamar e o efeito pepita representando a semivariância espacialmente

estruturada conforme explica Cambardella et al. (1994). Para comparar o grau de dependência espacial das variáveis estudadas estabeleceu-se a relação entre o efeito pepita e patamar, a qual denominamos índice de dependência espacial. Esta relação classifica o nível de dependência do comportamento das variáveis no espaço; neste estudo foram encontrados índices de dependência espacial classificados como moderados e fracos. De acordo com Lima et al. (2006) quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pelo atributo; assim será maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior a confiança no valor estimado.

A grande heterogeneidade de ocorrência da umidade do solo nas três áreas de estudo, possivelmente deve-se ao fato da variação de cobertura vegetal existente nos sistemas de preparo, concordando com os achados de Panosso et al. (2009). O FCO_2 por sua vez assumiu valores parecidos nas áreas de preparo convencional e cultivo mínimo, que representa uma maior homogeneidade na ocorrência desta variável que na área de sistema de plantio direto; esse comportamento pode ser explicado pela condição da área como um todo trata-se de um solo argiloso que quando mecanizado, como foi o caso do preparo convencional e do cultivo mínimo, foi embutida uma maior conformidade a área a tornando mais uniforme diferente do sistema de plantio direto que sofre interferências apenas localizadas nas linhas de plantio; Teixeira et al. (2012) encontrou comportamento similar em FCO_2 (25,39 e 27,02 m) ao trabalhar com sistema de plantio direto e preparo convencional. Um aspecto relevante acerca do alcance é baixos valores de alcance podem reduzir a qualidade das estimativas, pois quanto menor seu tamanho menor a quantidade de pontos utilizada na interpolação (CORÁ et al., 2004).

O modelo geoestatística mais adequado para a variável FCO_2 nas três áreas de estudo foi o esférico concordando com o comportamento encontrado por Kosugi et al. (2007), na avaliação da variabilidade espacial da respiração do solo em floresta tropical. Resultados semelhantes foram observados por Panosso et al. (2008) e Teixeira et al. (2011) ao trabalharem em áreas com cana-de-açúcar.

Conforme as correlações de Pearson (TABELA 4) no CM tornam-se representativas as variáveis VTP e Mi para a explicação do FCO_2 , devido ao fato de que a T do solo estava mais baixa. Já para o PC e CM apenas a temperatura apresentou relação com a distribuição espacial do FCO_2 , pois altas temperaturas, como as que foram encontradas, limitam o metabolismo dos microrganismos

presentes no solo, pois possuem uma faixa ideal para sobrevivência (MOREIRA & SIQUEIRA 2006). Desta forma, os diferentes tipos de preparo do solo afetam significativamente a exposição da matéria orgânica existente no solo, e por consequência a emissão de CO₂, que nestes casos se deve à quebra desta proteção física (BALESDENT et al., 2000). De modo geral, as emissões de CO₂ do solo em áreas agrícolas resultam das interações entre o clima (ACRECHE et al., 2014; KARHU et al., 2014; MOITINHO et al., 2015).

Inúmeros estudos relatam que a emissão de CO₂ do solo está ligada diretamente a sua umidade e temperatura (FÓTI et al., 2016; IAMAGUTI et al., 2015; MANTOVANELLI, et al. 2016; MOITINHO et al., 2016). No entanto, apenas no SPD e no PC, a FCO₂ apresenta significância na correlação com a temperatura do solo. Esse comportamento ocorreu devido a um grande período de crise hídrica, no ano de 2016, onde a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH-ES, 2016) registrou maior período de estiagem no Estado do Espírito Santo. Várias são as fontes do fluxo CO₂, dentre estas, as mais importantes para a agricultura são: raiz das plantas, a respiração microbiana e a dissolução de calcário (DAVIDSON et al., 1998, 2000; PIHLATIE et al., 2007). Assim a estrutura espacial da FCO₂ é afetada pelas variáveis do solo, que por sua vez podem ser moldadas por numerosos fatores do ambiente de modo complexo principalmente devido à covariação espacial entre os fatores do ambiente (FÓTI et al., 2016).

O conteúdo de água no solo é fundamental tanto para o favorecimento quanto para inibição da emissão de CO₂ por macro e micro organismos do solo, quando em situações extremas como inundações ou cultivos como a rizicultura a respiração do solo é limitada pela ausência de difusão do gás oxigênio, já em condições de restrição hídrica ocorre uma limitação pela falta de solubilização de substrato (carbono orgânico), que constitui a maior fonte de energia para crescimento desenvolvimento das atividades da macro e microfauna do solo. O estresse hídrico é um dos principais limitante do desenvolvimento da vida no solo; a seca é um fenômeno considerado como um dos fatores mais importantes que interfere na qualidade microbiológica dos solos (MATSUOKA et al., 2003; MOREIRA e SIQUEIRA 2006; BARTELEGA et al., 2015). No estudo desenvolvido por Davidson et al. (2000), a respiração do solo aumenta proporcionalmente com a temperatura do solo, seguindo um modelo exponencial, isso se deve ao fato que a temperatura do solo interfere de modo direto

a respiração das raízes e as atividades microbianas, em temperaturas que variaram de 24 a 28,5 °C (SILVA-OLAYA et al., 2013).

As variáveis VTP na área do SPD e MA e RPS do PC apresentaram efeito pepita puro o que indica a não existência de dependência espacial, pois essas variáveis possuem distribuição espacial aleatória ou que o espaçamento entre as amostras neste trabalho não foi suficiente para detectar a dependência espacial nas áreas de estudo.

Os resultados encontrados com o método da co-krigagem, estimam aproximadamente, valores em um raio maior para a FCO₂ e VTP na área de CM. Isso ocorre pois, trabalha-se com um número maior de vizinhos do que na krigagem, estabelecendo-se maior dependência espacial que aumenta também a correlação espacial. Conforme Gontijo et al. (2012) quanto maiores os alcances mais homogêneos espacialmente são áreas, pois proporcionou-se maior continuidade espacial.

Os resultados obtidos com este estudo são muito importantes, visto que a realidade da condição de seca dos ecossistemas é uma das tendências das mudanças climáticas globais, principalmente no tocante ao comportamento dos sistemas de preparo do solo avaliados. Os estudos avançam no sentido de compreender todos os mecanismos possíveis do ciclo do carbono, atualmente a criação de modelos baseados no uso do solo, com determinado manejo são capazes de simular os efeitos do uso de diferentes regimes de preparo sobre a cultura de interesse econômico, denotando a importância principalmente das interações entre fatores bióticos e abióticos (ZHANG et al., 2018), a exemplo a seca e desenvolvimento da vida no solo.

2.1.5. Conclusões

O sistema de plantio direto apresentou maior média de emissão de CO₂ do solo, em condições de restrição hídrica;

A variação espacial da emissão de CO₂ do solo pode ser relacionada às variações de temperatura no sistema de plantio direto e preparo convencional do solo;

Os atributos físicos do solo em condições de crise hídrica não afetaram a emissão de CO₂;

O estresse hídrico no solo observado interferiu na correlação da variabilidade da FCO₂.

Referências

ACRECHE, M. M.; PORTOCARRERO, R.; CHALCO VERA, J.; DANERT, C.; VALEIRO, A. H. Greenhouse gas emissions from green-harvested sugarcane with and without post-harvest burning in Tucumán. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 195–199, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0270-5>

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3–4, p. 215–230, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5)

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M.; Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 22, 641–649, 1998. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1081344/1/09.pdf> Acesso em: 20 jan 2017.

BARTELEGA, V.; ALMEIDA, G. R. R.; DA CUNHA, L. T. Quantificação de bactérias totais em solos cultivados com café da Fundação Procafé, em Varginha, Minas Gerais, Brasil. **La Saeta Universitaria**, Paraguay, v.13, n.1, p.45-66, 2015.

BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; MIRANDA, J. G. V.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane area. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 189, p. 206-215, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.043>

BOLIN, B.; DOOS, B. R.; JAGER, J.; WARRICK, R. A. Scope 29: **The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems**. John Wiley & Sons, Chichester, 1986.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, Madison v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, 2004. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180214041010/> Acesso em: 29 jan 2017.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; DE FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; SILVA, C. A. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 85, 2010. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012078771>. Acesso em: 03 fev 2017.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global change biology**, Oxford, v. 4, n. 2, p. 217-227, 1998. DOI: 10.1046/j.1365-2486.1998.00128.x

DAVIDSON, E. A.; VERCHOT L.V.; CATTÂNIO J.H.; ACKERMAN, I.L.; CARVALHO, J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of Eastern Amazonia. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, n. 1, p. 53-69, 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1006204113917?LI=true>. Acesso em: 26 dez 2017.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.

FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, A.A.; JOHANN, J.A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 32:463-476, 2008. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180214228001/> Acesso em: 16 dez 2017.

FÓTI, S.; BALOGH, J.; HERBST, M.; PAPP, M.; KONCZ, P.; BARTHA, S.; ZIMMERMANN, Z.; KOMOLY, C.; SZABÓ, G.; MARGÓCZI, K.; ACOSTA, M.; NAGY, Z. Meta-analysis of field scale spatial variability of grassland soil CO₂ efflux: Interaction of biotic and abiotic drivers. **Catena**, Amsterdam, v. 143, p. 78–89, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.034>

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Evolução Área do Sistema Plantio Direto no Brasil**. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/area-de-pdf>. Acesso em 09/09/2017.

GONTIJO, I.; NICOLE, R.N.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; SANTOS, E.O.J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1093-1102, 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180224730004/>. Acesso em: 16 jan 2017.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D.; BICALHO, E. D. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JUNIOR, N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, p. 497-504, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p497-504>

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Meteorologia**. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br> . Acesso em: 10 fev. 2018.

IPCC. **Climate change 2014**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2014. 151 p. Edited by The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer. Acesso em: 25 out. 2017.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. R. **Applied geostatistics**. 1989.

KARHU, K.; AUFFRET, M. D.; DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; PROSSER, J. I.; SINGH, B. K.; SUBKE, J.; WOOKEY, P. A.; ÅGREN, G. I.; SEBASTIA, M.; GOURIVEAU, F.; BERGKVIST, G.; MEIR, P.; NOTTINGHAM, A. T.; SALINAS, N.; HARTLEY, I. P. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. **Nature**, London, v. 513, p. 81–84, 2014. DOI: [doi:10.1038/nature13604](https://doi.org/10.1038/nature13604)

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; ITHO, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSOU, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest**

Meteorology, Amsterdam, v. 147, n. 1/2, p. 35-47, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.06.005>

LASHOF, D. A.; AHUJA, D. R. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. **Nature**, London, v. 344, n. 6266, p. 529-531, 1990. DOI: <http://10.1038/344529a0>

LIMA, J. S. D. S.; SILVA, J. T. O. D.; OLIVEIRA, R. B. D.; ALMEIDA, V. S. D.; VANZO, F. L. Estudo da viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de Paraju (*Manilkara* sp.). **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.651-657, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rarv/v30n4/31687.pdf> Acesso em: 21 fev 2018.

MACHADO, Pedro L.O. de A. Soil carbon and the mitigation of global climate change. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026>

MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, P. C. D. S.; SILVA, D. A. P.; CUNHA, J. M. D.; SOARES, M. D. R. Spatial distribution of CO₂ emissions and soil properties under native pasture in Humaitá region, Amazonas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 273-284, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320160207>

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbcs/v27n3/16660.pdf> Acesso em: 21 fev 2018.

MOITINHO, M. R.; PARRON PADOVAN, M.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, 2013. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180229291028/>. Acesso em: 09 jan 2018.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; FERRAUDO, A. S.; LA SCALA, N. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, p. 127–132, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.012>

MOITINHO, M. R.; DE SOUZA CANNAVAN, F.; TSAI, S. M.; TEIXEIRA, D. D. B.; LA SCALA JR, N. Emissão de CO₂ associada aos atributos do solo e genes 16s e pmoa em área de reforma de cana-de-açúcar. **Ciência & Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 8, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, 2006. 729p.

NAWAZ, A.; LAL, R.; SHRESTHA, R. K.; FAROOQ, M. Mulching Affects Soil Properties and Greenhouse Gas Emissions Under Long-Term No-Till and Plough-Till Systems in Alfisol of Central Ohio. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 28, n. 2, p. 673-681, 2017. DOI: 10.1002/ldr.2553

NORSE, D. Low carbon agriculture: Objectives and policy pathways. **Environmental Development**, Beijing, v. 1, n. 1, p. 25-39, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2011.12.004>

OERTEL, C.; MATSCHULLAT, J.; ZURBA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils-A review. **Chemie der Erde - Geochemistry**, Ann Arbor, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de. Composição florística e estrutura comunitária de um remanescente de floresta semidecídua montana em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, p. 167-182, 1994.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, p. 227-236, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n2/a03v28n2>. Acesso em: 16 fev 2018.

PANOSSO, A. R.; RODRIGUES RIBEIRO, C. E.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C., PEREIRA, G. T.; LA SCALA JUNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina**, Londrina, p. 1017-1033, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Newton_La_Scala_Jr/publication/276228071_Variabilidade_espacial_da_emissao_de_CO2_da_temperatura_e_umidade_de_um_latossolo_desprovido_de_vegetacao_sob_diferentes_laminas_de_molhamento/links/55eed4108ae0af8ee1af6ad.pdf. Acesso em: 12 fev 2018.

PIHLATIE, M.; PUMPANEN, J.; RINNE J.; ILVESNIEMI, H.; SIMOJOKI, A.; HARI P.; VESELA T. Nitrous oxide and carbon dioxide fluxes in the soil of the boreal forest. **Tellus**, Stockholm, v. 59, p. 458-469, 2007.

RIAAHI, Keywan et al. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 42, p. 153-168, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

SILVA-OLAYA, A.M.; CERRI, C.E.P.; LA SCALA JR., N.; DIAS, C.T.S.; CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Bristol, v.8, n.1, p.1-8, 2013. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180229291028/> Acesso em: 02 fev 2018.

SIQUEIRA NETO, M.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; COSTA JUNIOR, C.; CLEMENTE CERRI, C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180219142006/>. Acesso em: 02 fev 2018.

TAVARES, R. L. M.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, G. S.; TORRES, J. L. T. Spatial and temporal variability of soil CO₂ flux in sugarcane green harvest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. e0150252, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20150252>. Acesso em: 02 fev 2018.

TEIXEIRA, L. G.; LOPES, A.; LA SCALA, N. Temporal variability of soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage described by an exponential decay in time model. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 224–231, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000200004>

TEIXEIRA, D. de B.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, N. L. S. Krigagem ordinária e simulação sequencial Gaussiana na interpolação da emissão de CO₂ do solo. **Energia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 26-42, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2011v26n3p26-42>

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1466–1475, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500010>

OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. **Kriging: a method of interpolation for geographical information systems**. International Journal of Geographical Information System, Dublin, v. 4, n. 3, p. 313-332, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1080/02693799008941549>

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M^a T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, n. 4, p. 469-479, 2001. DOI: <https://doi.org/10.4141/S00-095>

ZHANG, X.; SUN, Z.; LIU, J.; OUYANG, Z.; WU, L. Simulating greenhouse gas emissions and stocks of carbon and nitrogen in soil from a long-term no-till system in the North China Plain. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 178, p. 32-40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.013>

2.2. EMISSÃO DE CO₂ E ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

Resumo

Nas áreas agrícolas a emissão de gás carbônico do solo (FCO₂) é o resultado de da interação entre vários fatores, dentre estes estão as condições edafoclimáticas e as práticas de manejo aplicadas no solo e na cultura de interesse. Deste modo, objetivou-se quantificar o FCO₂ em três áreas com diferentes manejos e uma área de referência, associados aos seus atributos químicos e físicos do solo. O estudo foi desenvolvido no IFES *Campus* Santa Teresa-ES, no período de agosto/2016 á março/2017. Os tratamentos consistiram: Sistema de Plantio Direto (SPD), Cultivo Mínimo e Preparo Convencional (PC), e como referência: área de Mata Atlântica; contando com seis repetições cada. Além disso foi realizada uma análise exploratória das leituras nos sistemas de preparo do solo, onde o FCO₂ foi traduzido graficamente num diagrama o Box-Plot. As variáveis avaliadas foram: FCO₂ obtido por meio de um analisador de gás infravermelho Li-cor®, modelo LI-8100A, com câmara opaca, modelo LI-8100-104C, simultaneamente ao gás foram amostrados temperatura (T) e Umidade do solo (US) através do sensor 5TM da *Decagon Devices*®; os atributos físicos do solo: Densidade do solo (Ds), Volume Total de Poros (VTP), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Resistência a Penetração do solo (RPS) e o atributo químico: carbono orgânico total (COT). O FCO₂ apresentou diferença significativa entre o SPD e o PC; onde respectivamente os valores médios encontrados para SPD, CM, Mata e PC foram 2,30; 2,25; 2,18; e 1,39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; o COT apresentou seu maior valor na área de Mata (32,95 g kg⁻¹) diferindo estatisticamente das demais áreas. Observou-se que menores emissões podem ser esperadas de sistemas com baixo aporte de carbono orgânico.

Palavras-chave: sistema de preparo convencional, cultivo mínimo, preparo convencional, carbono orgânico total

Abstract

In agricultural areas the emission of carbon dioxide from the soil (FCO_2) is the result of the interaction between several factors, among them are the edaphoclimatic conditions and the management practices applied in the soil and in the culture of interest. In this way, the objective was to quantify the FCO_2 in three areas with different management and a reference area, associated with its chemical and physical attributes of the soil. The study was developed at the IFES Campus Santa Teresa-ES, from August / 2016 to March / 2017. The treatments consisted of: no-tillage (NT), minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT), and as reference: Atlantic Forest area (NF); counting on six repetitions each. In addition, an exploratory analysis of the readings in soil preparation systems was carried out, where the FCO_2 was graphically translated into a Box-Plot diagram. The variables evaluated were: FCO_2 obtained by means of a Li-cor® infrared gas analyzer, model LI-8100A, with opaque chamber, model LI-8100-104C, simultaneously with gas were sampled temperature (T_s) and soil humidity (US) through Decagon Devices® 5TM sensor; density (Bd), total pore volume (TPV), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), resistance to soil penetration (RSP) and chemical attribute: total organic carbon (TOC). FCO_2 presented a significant difference between NT and CT; where respectively the mean values found for SPD, CM, Mata and PC were 2.30; 2.25; 2.18; and 1.39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; the COT had its highest value in the Mata area (32.95 g kg^{-1}), differing statistically from the other areas. It was observed that lower emissions can be expected from systems with low organic carbon input.

Key words: no-tillage, conventional tillage, minimum tillage, total organic carbon

2.2.1. Introdução

As mudanças climáticas globais vêm sendo discutidas no mundo inteiro (OERTEL et al., 2015), as preocupações mundiais estão voltadas para todos os

setores econômicos; e na agricultura o uso do solo está em foco. A agricultura desempenha um papel importante na regulação da troca de gases de efeito estufa (GEE's) entre os solos e a atmosfera na maioria dos países tropicais e subtropicais (MOSIER et al., 2006). Conforme o MCTI (2016) o Brasil chega a contribuir com 36% das emissões globais de CO₂ o que corresponde a emissão anual de 1,25 Pg eq de CO₂.

Dentre estes os GEE's o CO₂ é o mais produzido pelo homem (NASA, 2017) chamando a atenção da comunidade científica, essas emissões se dão em decorrência de uma série de fatores relacionados às atividades antrópicas como: desmatamento; queima de combustíveis fósseis; queimadas, mal-uso do solo (substituição da cobertura vegetal); e mudanças no uso da terra visando a expansão agrícola e a urbanização. Todas essas mudanças afetam diretamente a dinâmica e o ciclo do carbono, refletindo em profundas alterações ambientais e climáticas (BAYER et al., 2016). Na dinâmica do ciclo do carbono no solo, o CO₂ é produzido na superfície, principalmente por microrganismos que trabalham realizando a decomposição aeróbica da matéria orgânica do solo, e pela respiração de raízes, a qual é denominada de respiração do solo (RAICH; SCHLESINGER, 1992).

Conforme o IPCC (2013) os solos agrícolas dependendo do sistema de manejo a que forem submetidos, podem se tornar fontes ou drenos dos GEE's. Assim, alternativas estão sendo buscadas para o uso mais sustentável dos solos e dos recursos hídricos, com o objetivo de trazer melhorias a qualidade do solo e de tornar o sistema mais rentável.

Neste contexto, o manejo conservacionista, como por exemplo, o chamado sistema de plantio direto, é uma alternativa viável por proporcionar aumento melhoria da qualidade do solo, garantindo a manutenção da produção (DE SCHUTTER, 2012; SOUZA et al., 2016; WEZEL et al., 2014). De acordo com (MUZILLI, 1983; LOSS et al., 2015), o sistema de plantio direto proporciona: solos vivos e bem agregados, manutenção da biodiversidade, proteção dos solos contra o aquecimento excessivo e erosão e bom desenvolvimento das raízes. Tais fundamentos são imprescindíveis para o sucesso da implantação do manejo conservacionista nas lavouras.

O Cultivo mínimo recebe esta denominação pois trata-se da realização do preparo mínimo do solo. Consistindo geralmente no preparo do solo e plantio ao mesmo tempo, em um menor número possível de operações mecanizadas.

Já o preparo convencional trabalha com o rompimento dos agregados na camada preparada através dos procedimentos de aração e gradagem, em área total, estes por sua vez aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo-se negativamente na resistência dos agregados do solo (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990). Inúmeros são os problemas que podem ser ocasionados deste tipo de preparo do solo, dentre estes podemos destacar a desagregação na superfície pelo impacto das gotas após uma chuva intensa, com redução da taxa de infiltração de água (BERTOL et al., 2001) e aumentam o escoamento superficial e a erosão hídrica (BERTOL et al., 1997), em relação aos outros sistemas de preparo do solo.

Os atributos físicos do solo são considerados indicadores eficientes da saúde qualidade do solo, manejados nos sistemas agrícolas, uma vez que são a resultante de processos contínuos impressos pelo manejo adequado. Segundo Pragana et al. (2012) os indicadores mais usados para a qualidade são a resistência mecânica a penetração do solo, conteúdo de água no solo, densidade e macro e microporosidade; principalmente, por variarem de acordo com o sistema de manejo e permitirem o monitoramento contínuo.

A estatística descritiva é uma ferramenta muito importante para as análises de emissão de gases no solo, inúmeros autores fazem uso de gráficos barras e representações (OERTEL et al., 2015; SILVA et al., 2016; NOVAIS et al., 2018).

A hipótese deste trabalho é que quanto maior o grau de degradação do solo maior será o FCO_2 . Afim de analisar ao longo do dia a dispersão e os *outliers*, existentes na amostragem da temperatura do solo e o FCO_2 , o *box-plot* foi utilizado em cada sistema de preparo. Assim, objetivou-se determinar FCO_2 e os atributos físicos e o carbono orgânico total do solo, em diferentes sistemas de preparo do solo, afim de determinar sua eficiência do uso de carbono do solo.

2.2.2. Material e Métodos

O estudo foi realizado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - *Campus Santa Teresa* (19°48'17"S, 40°40'34"O), situado no município de Santa Teresa, Espírito Santo. A altitude média de 125 m acima do nível do mar. O clima da região é caracterizado segundo a classificação de Köppen como temperado úmido, Cwa, com inverno seco e verão quente. De acordo com a estação meteorológica instalada no Instituto (19°48'20"S, 40°40'43"O), a precipitação média anual de 1.161 mm, com temperatura média anual de 24,4 °C; sendo que as condições de precipitação e temperatura nos meses de realização do estudo encontram-se na FIGURA 1.

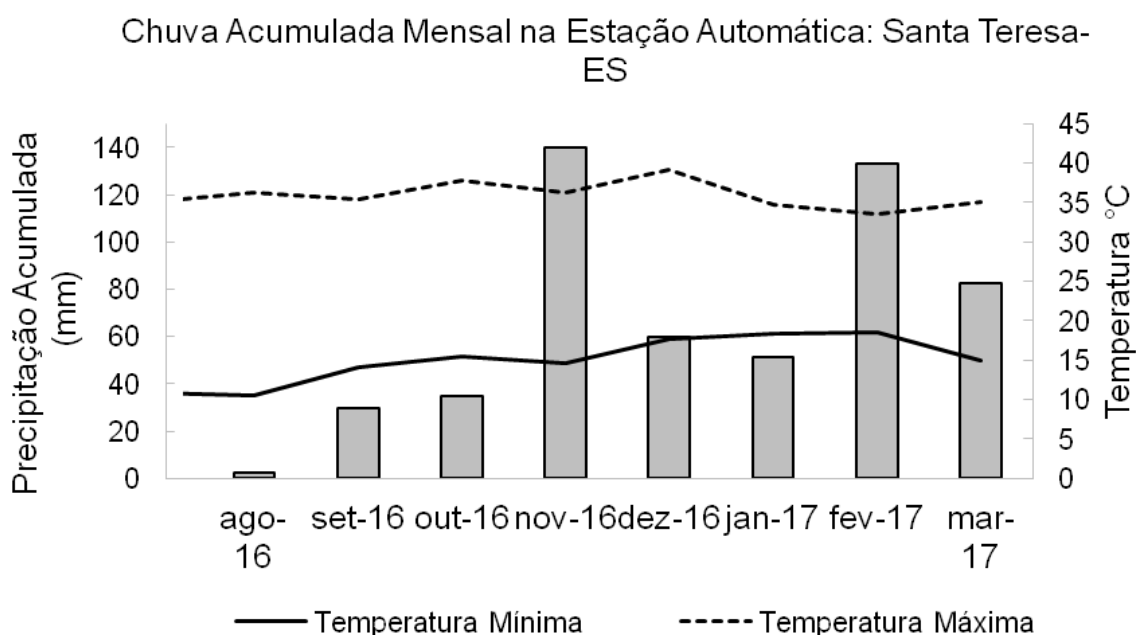


FIGURA 1. Condições meteorológicas durante o período de realização do experimento.

O solo predominante é um Latossolo Amarelo, com textura predominante argilosa (TABELA 1).

TABELA 1. Análise granulométrica do solo, na faixa de 0 a 0,20 m de profundidade

Partículas	Porcentual (%)
Argila	63
Silte	7
Areia	30

Os preparos do solo foram realizados sob a área de um pivô central com área total de 12 ha; onde são utilizados preparos do solo: sistema de plantio direto (SPD), cultivo mínimo (CM) e preparo convencional (PC).

O sistema de plantio direto foi adotado em uma área de 4 ha desde o ano de 2009, com realização de rotação de culturas (feijão - milho - mucuna ou sorgo) onde o principal objetivo é o manejo da cobertura do solo. Os cultivos sempre realizados de modo mecanizado, através de máquinas especializadas para plantio direto. O preparo convencional do solo é realizado há mais de 30 anos em uma área de aproximadamente 5 ha, sendo que a área utilizada para estudo contou com 2,5 ha, que nos últimos anos vem sendo cultivada com a cultura do milho, destinado a silagem explorada com duas safras ao ano. O preparo do solo foi caracterizado pelas operações de aração e gradagem. O cultivo mínimo foi implantado em uma área onde se realizavam algumas práticas conservacionistas como o plantio direto de grãos e pousio. As operações mecanizadas consistiram apenas no uso de um cultivador.

Os tratamentos consistiram nos sistemas de preparo do solo: plantio direto, cultivo mínimo, preparo convencional e um tratamento controle, a vegetação nativa; contando com seis repetições cada.

As leituras para determinação do fluxo CO_2 do solo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram realizadas por meio de uma câmara de sistema fechado automático (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA), que utiliza um analisador de gás infravermelho modelo LI-8100A, com câmara opaca, modelo LI-8100-104C. Esse sistema trabalha amostrando a concentração de gás carbônico por espectroscopia de absorção óptica. Para realização das leituras foi necessária a instalação prévia, no solo de estudo, de colares de tubo PVC (FIGURA 2), apresentando as dimensões de 0,203 m de diâmetro por 0,1143 m de altura, com *chamber off-set* de 0,02 m. As leituras foram realizadas ao longo de um dia.



FIGURA 2. Inserção dos colares de PVC no solo na área com sistema de plantio direto.

Os atributos físicos dos solos foram avaliados na faixa de profundidade de 0 a 0,20 m. Determinaram-se a densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), porosidade total (P_t), macroporosidade (M_a), microporosidade (M_i) e carbono orgânico total (COT).

A D_p foi determinada pelo método do balão volumétrico e a D_s foi determinada pelo método do anel volumétrico. A P_t foi calculada com base na D_s e na D_p ($P_t = 1 - D_s/D_p$). A M_i foi determinada empregando-se mesa de tensão (6 kPa) e a M_a pela diferença entre a P_t e a M_i .

Para realizar a seleção dos dados para compor os parâmetros da estatística clássica, foi realizado um estudo descritivo, com o objetivo de verificar a distribuição dos dados de emissão de CO_2 , ao longo do dia, a ferramenta estatística utilizada para tal, foi o diagrama o *box-Plot*. As variáveis foram submetidas a análise de variância

aplicando-se o teste F e a comparação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR.

2.2.3. Resultados

Os gráficos apresentados na FIGURA 3 representam o FCO_2 nas áreas onde foram realizados os sistemas de preparo do solo (SPD, CM e PC). As leituras foram agrupadas conforme o horário de realização 8, 9, 10, 11, 15, 16 e 17h. Nos sistemas de preparo SPD e PC o horário com maior dispersão dos dados foi às 16h e no CM às 15 h. Os intervalos das leituras com as menores amplitudes no SPD foram entre 10 e 11, no PC nos horários de 9, 10, 15 e 17. O CM teve suas menores amplitudes entre 8 e 11h.

O *boxplot* exibe, conjuntamente, o maior e menor valor observado nos resultados através de linhas retas verticais que se originam no primeiro e terceiro quartis, assim podemos observar os maiores valores encontrados 4,21; 3,96; 2,90 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente nos manejos CM (16h), SPD (11h), e PC (11h). Os menores valores foram 1,92; 1,62; 0,67 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os manejos SPD (9h), CM (8h) e PC (8h), respectivamente durante o dia de leitura (FIGURA 3).

Ao longo do dia o conjunto de dados que apresentou menor variação foi o SPD, seguido pelo CM e PC.

A leitura das temperaturas do solo foi realizada simultaneamente com as de FCO_2 , as maiores temperaturas foram encontradas no PC (54 °C) (FIGURA 4). Observa-se que os manejos conservacionistas (CM e SPD) garantiram constância das temperaturas ao longo dos dias de coleta.

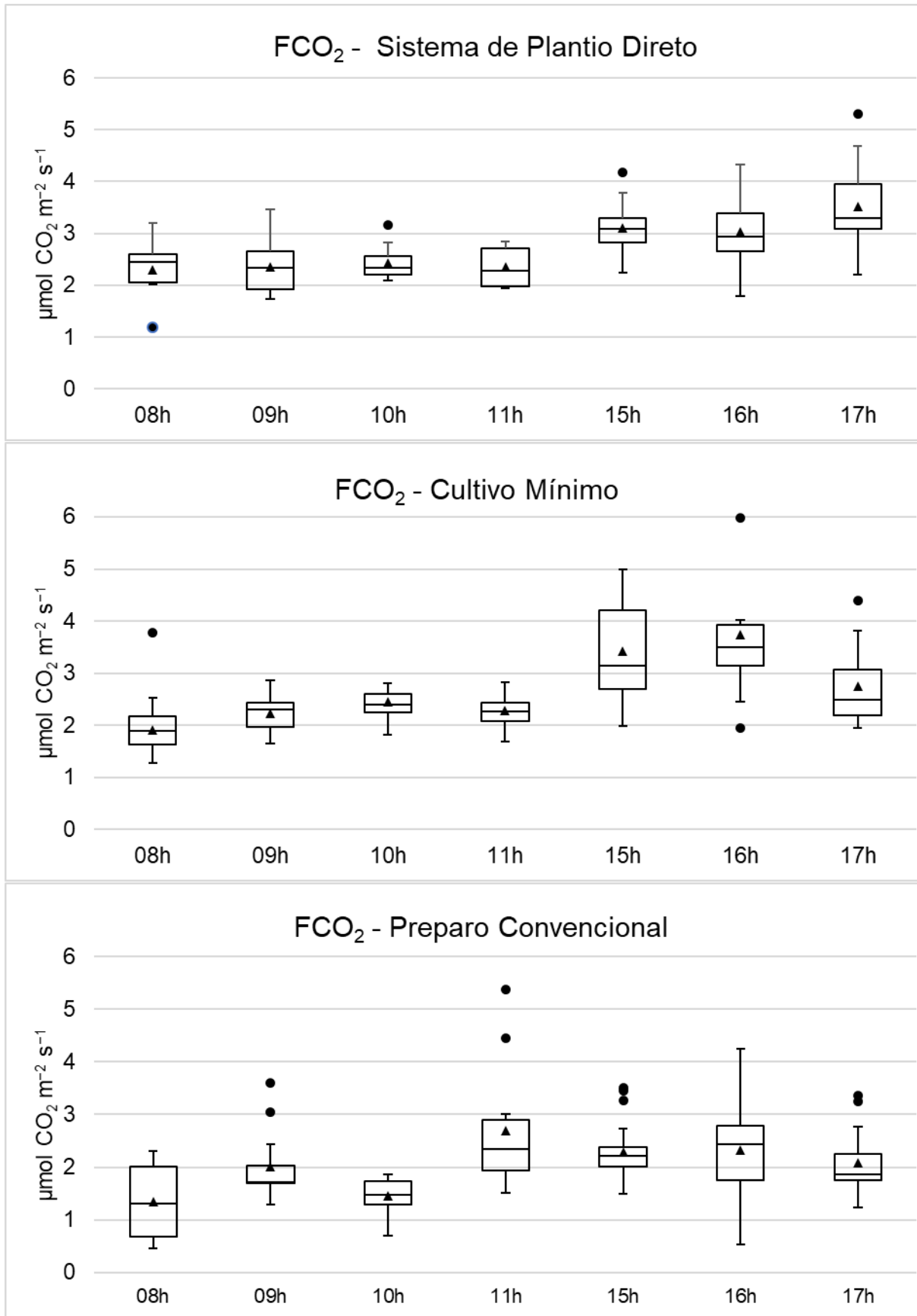


FIGURA 3. Gráficos da emissão de CO₂ ao longo do dia de realização das leituras em cada Sistema de preparo do solo.

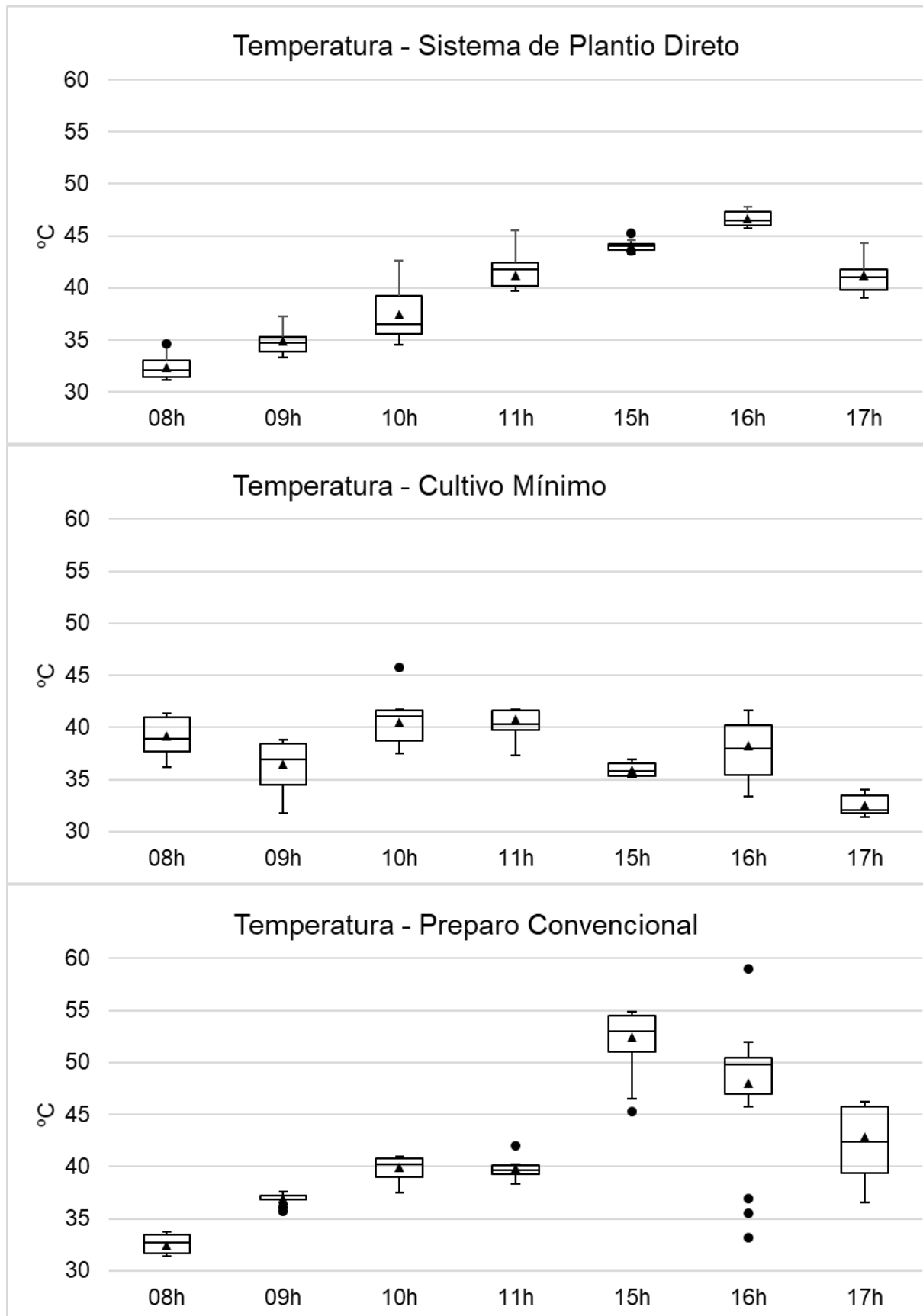


FIGURA 4. Gráficos da temperatura do solo aferida ao longo do dia de realização das leituras em cada sistema de prepare do solo.

Para as variáveis T, US, COT, Ds, VTP, Ma e Mi os resultados da análise de variância foram significativos ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) e para a variável FCO_2 foi significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Não sendo significativo para a resistência a penetração do solo (RPS MPa).

TABELA 2. Estatística das variáveis emissão de CO_2 do solo ($\text{FCO}_2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), temperatura do solo (T °C), Umidade do solo (US $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), carbono orgânico total (COT g kg^{-1}), Densidade do solo (Ds g cm^{-3}), Volume Total de Poros (VTP $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), Macroporosidade (Ma $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), Microporosidade (Mi $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); nas áreas de Sistema de Plantio Direto (SPD), cultivo mínimo (CM) e preparo convencional (PC)

	FCO_2	T	US	COT	Ds	VTP	Ma	Mi
Mata	2,18ab	22,2 c	0,184 a	32,9 a	1,21 b	0,74a	0,63a	0,11b
SPD	2,30a	32,4 b	0,107 b	15,3 b	1,37 a	0,50b	0,09b	0,41a
CM	2,25ab	35,7 a	0,093 b	12,3 bc	1,43 a	0,48b	0,05b	0,43a
PC	1,39b	33,1 ab	0,104 b	9,2 c	1,48 a	0,51b	0,10b	0,41a
CV*%	29,7	6,64	22,0	20,9	5,8	8,61	18,9	7,12

As médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com teste Tukey a 5% de significância. *CV: coeficiente de variação.

O FCO_2 apresentou valores médios para Mata, SPD, CM e PC de 2,18 , 2,30 , 2,25 e 1,39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (TABELA 2); não diferindo as áreas Mata, PC e CM; assim como SPD, CM e Mata. Os manejos SPD e o PC (2,18 e 1,39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) diferiram estatisticamente.

A menor T do solo foi 22,22 °C (área de Mata); seguida pela 32,41 °C (SPD); sendo iguais as áreas de PC e CM (33,14 e 35,75 °C) obtendo os maiores valores.

A maior US foi encontrada na área de Mata (0.184 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) diferindo das áreas de SPD, CM e PC (0,10; 0,10 e 0,09 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente).

O atributo químico COT apresentou seu maior valor na área de Mata (32,95 g kg^{-1}) diferindo das demais áreas estudadas.

Os atributos físicos do solo Ds, VTP, Ma e Mi apresentaram diferenças quando comparado os sistemas de preparo do solo SPD, CM e PC a área de Mata. O menor valor de Ds foi encontrado na área de Mata (1,21 g cm^{-3}).

As variáveis que representam a porosidade do solo o volume total de poros (VTP) foi maior na área de Mata (0,745 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) sendo sua distribuição em macroporos (Ma) e microporos (Mi) inversa nas demais áreas estudadas (0,63 e 0,11 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); nos

sistemas de preparo do solo os valores médios de macroporosidade (Ma) foram menores que os valores de microporosidade (Mi).

2.2.4. Discussão

A distribuição do FCO_2 nos sistemas de preparo do solo ao longo do dia reflete sua capacidade física; o SPD apresenta menor dispersão de FCO_2 ao longo do dia, graças as características que o manejo conservacionista do solo imprime nos atributos do solo quando utilizado, concordando com Torres et al. (2015) que estudou qualidade do solo numa área sob plantio direto. Os manejos conservacionistas do solo, SPD e CM, conferem ao mesmo maior proteção contra as condições ambientais extremas como chuvas erosivas, crise hídrica, altas taxas de radiação solar; esse manejo condiciona melhorias no uso do solo onde os recursos naturais podem ser melhor explorados pelas culturas de interesse econômico, pois a aplicação dos manejos adequados e integrados do solo da água e dos recursos biológicos disponíveis, torna o solo um sistema dinâmico (PRAGANA et al., 2012).

No sistema convencional, por sua vez, as condições edafoclimáticas são afetadas diretamente pelas condições ambientais, principalmente porque o sistema é conduzido com eliminação das plantas daninhas, não possuindo o solo nenhum tipo de cobertura, e o manejo consiste basicamente na eliminação contínua de plantas, adubação e colheita. De acordo com Ohland et al. (2014) a mecanização do solo interfere nos atributos físicos do solo dentre eles a estruturação do solo, os macroagregados são destruídos e o solo passa apresentar estrutura degradada, podendo impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume de solo explorado pelo sistema radicular, além de reduzir a porosidade.

O FCO_2 está ligado a temperatura do solo, ao longo do dia nos sistemas de preparo as maiores variações foram também nos horários que foram registradas as maiores temperaturas; esse resultado concorda com Buragiené et al. (2015) que ao

trabalhar em diferentes sistemas de preparo do solo na Lituânia observou a intensidade das emissões de CO_2 do solo depende da temperatura do solo.

E emissão de gás carbônico obtida no estudo apresentando-se em menor quantidade na área de PC, está associada ao que foi embutido pela prática do manejo convencional com sucessivas arações e gradagens, que preparo após preparo modificaram a estruturação do solo, o expondo. Corroborando com Teixeira et al. (2011) onde os mesmos constataram que as emissões de FCO_2 foram reduzidas no preparo convencional principalmente porque em solos nus, como foi o caso da área de estudo, sendo a única fonte de carbono é decomposição de carbono lábil. Resultado este que pode ser justificado a partir da quantidade de carbono orgânico existente na área de PC. De acordo com Reich et al. (2017), o FCO_2 desprovido de vegetação, observaram que a temperatura e o teor de água do solo foram os fatores que exerceram maior influência sobre a emissão de CO_2 do solo.

Estudos desenvolvidos com FCO_2 em áreas com não revolvimento do solo em contraste com áreas com revolvimento; encontraram maiores FCO_2 em áreas revolvidas (FORTIN et al., 1996; LA SCALA et al., 2006; SILVA-OLAYA et al., 2013, BURAGIENĖ et al., 2015). Evidencia-se que neste estudo as leituras, detectaram maiores emissões nas áreas onde o preparo do solo foi o CM e o SPD, não concordando, pois, a área foi revolvida e após aproximadamente 180 dias após a implantação dos colares nos solos foi realizada a amostragem. Além disso, o estudo foi desenvolvido em uma época de crise hídrica estadual reconhecida nacionalmente pelos órgãos competentes, e conforme Fowler et al., (2009) o estresse hídrico do solo, limita o FCO_2 , uma vez que a água é necessária como meio de transporte de nutrientes requeridos pela respiração do solo, que depende da vida no solo tanto dos microrganismos quanto das plantas.

De acordo com Wick et al. (2012), as propriedades do solo, principalmente as que tem influência sob a porosidade, explicam as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, uma das propriedades físicas do solo, sensíveis ao manejo é a porosidade. Ao compararmos as demais variáveis do solo como volume total de poros e sua relação com a macroporosidade e microporosidade no grupo dos preparos de solo não houve diferença estatística entre o manejo conservacionista e convencional apesar da idade de implantação do sistema de plantio direto (9 anos); devido ao efeito inicial que o preparo convencional causa no solo, deixando em um primeiro momento as condições ótimas para o desenvolvimento das plantas, mas com passar dos ciclos

de umedecimento e secagem do solo, as partículas do solo se rearranjam de modo desordenado e a partir daí começam os problemas como erosão laminar e encrostamento superficial do solo.

o SPD apresenta uma FCO_2 maior por se tratar de um manejo conservacionista, que na época do estudo manteve boa parte da cobertura vegetal, apesar da crise hídrica, e a uma faixa inicial existente nos primeiros 0,05 m de solo formam uma camada que garante a proteção da estrutura do solo, garantido que as variações ambientais como por exemplo radiação solar e chuvas erosivas sejam atenuadas; o que não expõe tanto o solo garantindo a manutenção da vida dos microrganismos e das raízes. O uso do SPD gera um agroecossistema com menores perturbações ao meio ambiente que o de outras formas de manejo que usam intensa mobilização do solo, pois este manejo visa a recomposição da biodiversidade do solo, como a do ambiente em si, ocasionando do menor impacto humano no sistema (BARTZ et al., 2013; BARTZ et al., 2014).

O carbono orgânico total mostrou-se fundamental para o entendimento da FCO_2 , uma vez que seu comportamento isolou a área de referência a Mata e estabeleceu a diferença entre sistemas conservacionistas e convencionais corroborando com Borges et al. (2015) que determinou o carbono orgânico e emissão de CO_2 em áreas sob diferentes usos no Cerrado. Conforme Costa et al. (2006) quando em suas condições naturais de vegetação, os solos tendem a apresentar um estoque de carbono estável, sendo a resultante entre a taxa de entrada de CO_2 atmosférico pelas plantas e a taxa de saída de CO_2 pela respiração de raízes e da microbiota; o que não ocorre quando o solo é manejado.

As boas práticas agrícolas de conservação e de manejo do solo possibilitam a entrada de carbono no sistema-solo (sequestro de C) permitindo que o mesmo fique no solo, diferente do que acontece quando é liberado na forma de CO_2 para a atmosfera devido ao desmatamento, queimadas, operações de aração e gradagem levando a uma maior oxidação da matéria orgânica.

2.2.5. Conclusões

Os resultados mais expressivos referentes a elevações na emissão de CO₂ e temperatura do solo foram observados no sistema de preparo convencional do solo;

A FCO₂ é diferente em função dos preparos, sendo que o preparo do solo com maior emissão é o SPD.

Referências

BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 69, p. 39-48, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.011>

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; DA ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 83, p. 59-70, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.003>

BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 161, p. 86-94, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.03.011>

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 555-560, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n3/a18v58n3>. Acesso em: 04 dez 2017.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Vol. 21, n. 3, p. 409-418, 1997. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/171968>. Acesso em: 13 jun 2017.

BORGES, C.; TEIXEIRA RIBEIRO, B.; WENDLING, B.; ALVES CABRAL, D. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes

usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 3, 2015. DOI: 10.4136/ambi-agua.1573

BURAGIENĖ, S.; ŠARAUSKIS, E.; ROMANECKAS, K.; SASNAUSKIENĖ, J.; MASILIONYTĖ, L.; KRIAUCIŪNIENĖ, Z. Experimental analysis of CO₂ emissions from agricultural soils subjected to five different tillage systems in Lithuania. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 514, p. 1-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.090>

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 693-700, 2006. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/331/33136256.pdf>. Acesso em: 12 fev 2017.

FORTIN, M. C.; ROCHETTE, P.; PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, p.1541-1547, 1996. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000050036x>. Acesso em: 26 jan. 2018.

FOWLER, D.; PILEGAARD, K.; SUTTON, M.A.; AMBUS, P.; RAIVONEN, M.; DUYZER, J.; SIMPSON, D.; FAGERLI, H.; FUZZI, S.; SCHJOERRING, J.K.; GRANIER, C.; NEFTEL, A.; ISAKSEN, I.S.A.; LAJ, P.; MAIONE, M.; MONKS, P.S.; BURKHARDT, J.; DAEMMGEN, U.; NEIRYNCK, J.; PERSONNE, E.; WICHINK-KRUIT, R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; FLECHARD, C.; TUOVINEN, J.P.; COYLE, M.; GEROSA, G.; LOUBET, B.; ALTIMIR, N.; GRUENHAGE, L.; AMMANN, C.; CIESLIK, S.; PAOLETTI, E.; MIKKELSEN, T.N.; RO-POULSEN, H.; CELLIER, P.; CAPE, J.N.; HORVÁTH, L.; LORETO, F.; NIINEMETS Ü.; PALMER, P.I.; RINNE, J.; MISZTAL, P.; NEMITZ, E.; NILSSON, D.; PRYOR, S.; GALLAGHER, M.W.; VESALA, T.; SKIBA, U.; BRÜGGEMANN, N.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; WILLIAMS, J.; O'DOWD, C.; FACCHINI, M.C.; LEEUW, G.; DE FLOSSMAN, A.; CHAUMERLIAC, N.; ERISMAN, J.W. Atmospheric composition change: ecosystems-Atmosphere interactions. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 43, n. 33, p. 5193–526, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.068>

OHLAND, T.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J. F.; RAMPIM, L.; BERGMANN, J. R.; CABREIRA, D. T. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-mansão cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 622-630, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050004>. Acesso em: 10 jan. 2018.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.91, p.244-248, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>. Acesso em: 10 jan. 2018.

LOSS, Arcângelo et al. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140718

MCTI - Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento—SEPED, 3ª ed. 2016. Disponível em: http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINAL_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd. Acesso em: 22 jan. 2018.

MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; REULE, C.A.; LIU, X.J.J.; Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado. **Journal of environmental quality**, Madison, v. 35, n. 4, p. 1584-1598, 2006. DOI:10.2134/jeq2005.0232

MUZILLI, O. de. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 1983. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302126641>. Acesso em: 17 out 2017.

NOVAIS, J. W. Z.; SANCHES, L.; DA SILVA, L. B.; MACHADO, N. G.; AQUINO, A. M.; DA SILVA SALLO, F. Serrapilheira e Efluxo de CO₂ do Solo em Floresta Sazonalmente Alagável no Pantanal Brasileiro. **Ensaios e Ciência: C. Biológicas, NASA. Evidences, Climate change: How do we know?** Disponível em: climate.nasa.gov/evidence/ 2017. <https://climate.nasa.gov/>. Acesso em: 22 dez. 2017.

OERTEL, C.; MATSCHULLAT, J.; ZURBA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils-A review. **Chemie der Erde - Geochemistry**, Ann Arbor, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NOBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade Física de Latossolos Amarelos sob Plantio Direto na Região do Cerrado Piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 36, p. 1591-1600, 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180224890023/>. Acesso em: 16 jan 2017.

RAICH, J.W; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration relationship to vegetation and climate. **Tellus**, Copenhagen, v.44B, p.81-99, June 1992. DOI: 10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x

RIAH, Keywan et al. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 42, p. 153-168, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

SCHUTTER, O. Agroecology, a Tool for the Realization of the Right to Food. In: *Agroecology and Strategies for Climate Change*. **Springer Netherlands**, Berlin, 2012. p. 1-16. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7_1

SILVA, C.M.; VASCONCELOS, S.S.; MOURÃO JÚNIOR M.; BISPO, C.J.C.; KATO, O.R.; SILVA JUNIOR, A.C.; CASTELLANI, D.C. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 46, n.1, p. 1-12, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201500193>

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, San Diego, v.8, p.1-8, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014>

STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K.; PLATTNER, M.; TIGNOR, S.K.; ALLEN, J.; BOSCHUNG, A.; NAUELS, Y.; XIA, V.; BEX P. M. MIDGLEY, S. Technical summary. In: **Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2013. p. 33-115.

SOUZA, M.; COMIN, J.J.; LEGUIZAMÓN, E.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; JÚNIOR JR., V.M.; VENTURA, B.; CAMARGO, A.P. Drymatter of cover crops, onion yield and soil chemical attributes in agroecological no-tillage system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 21-27, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150>

TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, v. 345, n. 1-2, p. 187-194, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0770-6>

TORRES, J.L.R.; DE SOUZA, Z. M.; PEREIRA, M. G.; DE ASSIS, R. L. Attributes of soil quality indicators in area under direct planting to twelve years. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 2, p. 123-133, 2015. Disponível em: <https://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/539/311> Acesso em: 11 jan 2017.

WEZEL, A.; CASAGRANDE, M.; CELETTE, F.; VIAN, J. F.; FERRER, A.; PEIGNÉ, J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. **Agronomy for sustainable development**, Paris, v. 34, n. 1, p. 1-20, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>

WICK, A.F.; PHILLIPS, R.L.; LIEBIG, M.A.; WEST, M.; LEE DANIELS, W. Linkages between soil micro-site properties and CO₂ and N₂O emissions during a simulated thaw for a northern prairie Mollisol. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, 50:118-125, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.010>

3. CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos neste estudo reforça-se a necessidade da preservação da estrutura do solo, assim, práticas que visam a manutenção e o aporte de material orgânico sem o revolvimento do solo apresentam maior qualidade para as variáveis estudadas. O preparo do solo como fator isolado influenciou em maiores taxas de FCO₂ do solo.

REFERÊNCIAS

BURAGIENĖ, S.; ŠARAUSKIS, E.; ROMANECKAS, K.; SASNAUSKIENĖ, J.; MASILIONYTĖ, L.; KRIAUCIŪNIENĖ, Z. Experimental analysis of CO₂ emissions from agricultural soils subjected to five different tillage systems in Lithuania. **Science of the Total Environment**, v. 514, p. 1-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.090>

CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. & RONDÓN, M.A. Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. & CERRI, C.E.P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York, Haworth, 2006. p.245-266.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Evolução Área do Sistema Plantio Direto no Brasil**. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/area-de-pdf>. Acesso em 09/09/2017.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, New York, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004. DOI: 10.1126/science.1097396

NASA. **Evidences, Climate change: How do we know?** Disponível em: climate.nasa.gov/evidence/ 2017. <https://climate.nasa.gov/>. Acesso em: 22 dez. 2017.

OERTEL, C.; MATSCHULLAT, J.; ZURBA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils-A review. **Chemie der Erde - Geochemistry**, Ann Arbor, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>

THOMPSON, L. G.; MOSLEY-THOMPSON, E.; BRECHER, H.; DAVIS, M.; LEÓN, B.; LES, D.; MOUNTAIN, K. Abrupt tropical climate change: Past and present. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Allahabad, v. 103, n. 28, p. 10536-10543, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0603900103>